

1 Abstract

Wireless System With Transmitter Having Multiple Transmit Antennas And
Combining Open Loop and Closed Loop Transmit Diversities

ABSTRACT OF THE DISCLOSURE

A wireless communication system (40). The system comprises transmitter circuitry (42) comprising encoder circuitry (44) for receiving a plurality of symbols (S_i). The system further comprises a plurality of antennas (AT1-AT4) coupled to the
5 transmitter circuitry and for transmitting signals from the transmitter circuitry to a receiver (UST), wherein the signals are responsive to the plurality of symbols. Further, the encoder circuitry is for applying open loop diversity and closed loop diversity to the plurality of symbols to form the signals.

2 Representative Drawing

Fig. 4

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号
特開2001-44900
(P2001-44900A)

(43) 公開日 平成13年2月16日 (2001.2.16)

(51) Int.Cl. ⁷	識別記号	F I	テーマコード* (参考)
H 0 4 B 7/06		H 0 4 B 7/06	
	1 0 2	7/26	1 0 2
H 0 4 J 13/00		H 0 4 J 13/00	A

審査請求 未請求 請求項の数36 O L 外国語出願 (全 61 頁)

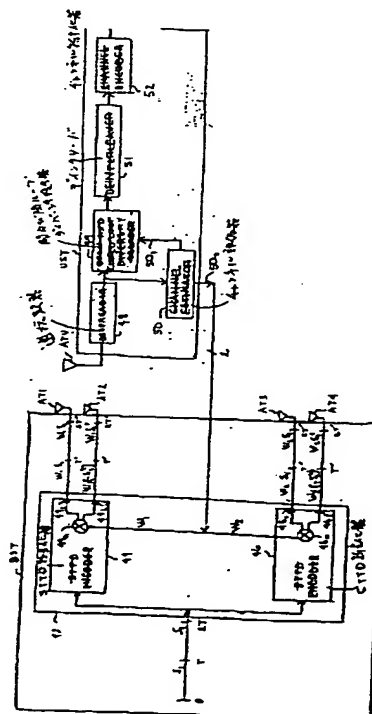
(21) 出願番号	特願2000-200188(P2000-200188)	(71) 出願人	590000879 テキサス インストルメンツ インコーポ レイテッド アメリカ合衆国テキサス州ダラス, ノース セントラルエクスプレスウェイ 13500
(22) 出願日	平成12年5月29日 (2000.5.29)	(72) 発明者	アナンド ジー、ダバク アメリカ合衆国 テキサス、プラノ、ケン ドール ドライブ 8625
(31) 優先権主張番号	1 3 6 4 1 3	(72) 発明者	シルナス ホスル アメリカ合衆国 テキサス、プラノ、キャ ニヨンランズ ドライブ 8800
(32) 優先日	平成11年5月28日 (1999.5.28)	(74) 代理人	100066692 弁理士 浅村 皓 (外3名)
(33) 優先権主張国	米国 (US)		

(54) 【発明の名称】 複数の送信アンテナを有し開ループおよび閉ループ送信ダイバーシチを結合する無線システム

(57) 【要約】

【課題】 無線通信に於けるマルチパスの問題を解決することを目的とする。

【解決手段】 無線システムにおいて複数の送信アンテナを有する送信機で、マルチパスを解消するために受信機からのフィードバック信号を用いる開ループ・ダイバーシチを使用する一方、高いドップラーなどの影響でフィードバック信号の信頼性が低下した場合は、フィードバック信号を使用しない開ループ・ダイバーシチを信号に適用することで、開ループ・ダイバーシチおよび閉ループ・ダイバーシチの特長を生かしてマルチパスの問題を解消する。この機能は送信機のみならず複数のアンテナを有する受信機にも適用される。



【特許請求の範囲】

【請求項 1】 無線通信システムであって：複数のシンボルを受信するための符号化器回路を含む送信機回路と；送信機回路に結合され送信機回路から受信機に信号、ここで信号はそれぞれ複数のシンボルであるを信号を送信するための複数のアンテナとを含み；そして符号化器回路は信号を形成するめに複数のシンボルに対して開ループ・ダイバーシチおよび閉ループ・ダイバーシチを適用するためのものである、前記無線通信システム。

【請求項 2】 請求項 1 記載のシステムにおいて：複数のアンテナが複数のアンテナの組を含み；各々のアンテナの組に対して符号化器回路が開ループ・ダイバーシチを適用し、複数のシンボルの選択された 1 つに対してアンテナの組内のいずれか 1 つのアンテナで送信される信号が、アンテナの組内のその他のアンテナから送信される信号に対して開ループ・ダイバーシチを表すようにする、前記システム。

【請求項 3】 請求項 2 記載のシステムにおいて、アンテナの組の各々に対して、符号化器回路が重みを複数のシンボルに適用し、その重みに応答して送信された信号が、アンテナの別の組のその他のアンテナから送信される信号に関して開ループ・ダイバーシチを表すようにしている、前記システム。

【請求項 4】 請求項 3 記載のシステムにおいて：複数のアンテナの組が 2 組のアンテナで構成され；各々のアンテナの組が 2 本のアンテナで構成されている、前記システム。

【請求項 5】 請求項 3 記載のシステムにおいて：複数のアンテナの組が 3 組のアンテナで構成され；各々のアンテナの組が 2 本のアンテナで構成されている、前記システム。

【請求項 6】 請求項 3 記載のシステムにおいて：複数のアンテナの組が 2 組のアンテナで構成され；各々のアンテナの組が 4 本のアンテナで構成されている、前記システム。

【請求項 7】 請求項 3 記載のシステムにおいて：複数のアンテナの組が 4 組のアンテナで構成され；各々のアンテナの組が 2 本のアンテナで構成されている、前記システム。

【請求項 8】 請求項 1 記載のシステムにおいて、開ループ・ダイバーシチが空間時間ブロック符号送信アンテナ・ダイバーシチを含む、前記システム。

【請求項 9】 請求項 1 記載のシステムにおいて、開ループ・ダイバーシチが直交送信ダイバーシチを含む、前記システム。

【請求項 10】 請求項 1 記載のシステムにおいて、開ループ・ダイバーシチが時間切換時間ダイバーシチを含む、前記システム。

【請求項 11】 請求項 1 記載のシステムにおいて、開ループ・ダイバーシチが送信適応配列ダイバーシチを含む、前記システム。

む、前記システム。

【請求項 12】 請求項 11 記載のシステムにおいて、開ループ・ダイバーシチが空間時間ブロック符号送信アンテナ・ダイバーシチを含む、前記システム。

【請求項 13】 請求項 1 記載のシステムが更に受信機を含む、前記システム。

【請求項 14】 請求項 13 記載のシステムにおいて、受信機が複数のアンテナから送信された信号を受信するための 1 本のアンテナを含む、前記システム。

【請求項 15】 請求項 13 記載のシステムにおいて、受信機が複数のアンテナを含み、複数のアンテナの各々が複数のアンテナから送信された信号を受信するためのものである、前記システム。

【請求項 16】 請求項 13 記載のシステムにおいて、受信機が復号器回路を含み、これが複数のシンボルに関して開ループ・ダイバーシチおよび閉ループ・ダイバーシチを復号する、前記システム。

【請求項 17】 請求項 16 記載のシステムにおいて、受信機が更に：1 つの出力を有し、復号回路に結合されているその出力部に信号に응答して逆拡散されたシンボル・ストリームを生成するための逆拡散器と；逆拡散器の出力に結合され、逆拡散されたシンボル・ストリームに基づいて評価されたチャンネル・インパルス応答を決定するためのチャンネル評価器とを含み；復号器回路が逆拡散されたシンボル・ストリームに関し、評価されたチャンネル・インパルス応答に응答して開ループ・ダイバーシチおよび閉ループ・ダイバーシチを復号するためのものである、前記システム。

【請求項 18】 請求項 17 記載のシステムにおいて、受信機が更に復号回路に結合され、復号器回路から受信された情報に対してデインタリーブ機能を提供するデインタリーバを含む、前記システム。

【請求項 19】 請求項 18 記載のシステムにおいて、受信機が更にデインタリーバの出力に結合され、デインタリーバから受信された情報のデータ誤り率を改善するためのチャンネル復号器を含む、前記システム。

【請求項 20】 請求項 1 記載のシステムにおいて、信号が CDMA 通信を含む、前記システム。

【請求項 21】 請求項 1 記載のシステムにおいて、信号が WCDMA 通信を含む、前記システム。

【請求項 22】 請求項 1 記載のシステムにおいて、信号が TDMA 通信を含む、前記システム。

【請求項 23】 請求項 1 記載のシステムにおいて：送信機回路が基地局内に配置され；そして受信機が移動体受信機を含む、前記システム。

【請求項 24】 請求項 1 記載のシステムにおいて、複数のシンボルが 4 値位相シフト・キーイング変調シンボルを含む、前記システム。

【請求項 25】 請求項 1 記載のシステムにおいて、複数のシンボルがバイナリ位相シフト・キーイング変調シ

ンボルを含む、前記システム。

【請求項 26】 請求項 1 記載のシステムにおいて、複数のシンボルが QAM 変調シンボルを含む、前記システム。

【請求項 27】 請求項 1 記載のシステムにおいて、送信機回路が更に：複数のビットを受信するためのチャンネル符号化器と；チャンネル符号化器の出力に結合され、符号化されたビットのブロックをシャッフルするためのインタリーブと；インタリーブの出力に結合され、シャッフルされたビットを複数のシンボルに変換するためのシンボル・マッピング器とを含む、前記システム。

【請求項 28】 複数の送信アンテナから送信する送信機回路から信号を受信するための無線通信受信機であって、これらの信号は送信機回路において開ループ・ダイバーシチと閉ループ・ダイバーシチを複数のシンボルに適用することで形成される前記受信機が：1つの出力を有し、信号にตอบสนองしてその出力部に逆拡散されたシンボル・ストリームを生成するための逆拡散器と；逆拡散器の出力に結合され、逆拡散されたシンボル・ストリームに関して開ループ・ダイバーシチおよび閉ループ・ダイバーシチを復号するための復号器回路とを含む、前記受信機。

【請求項 29】 請求項 28 記載の受信機が更に、複数の送信アンテナから送信された信号を受信するための 1本のアンテナを含む、前記受信機。

【請求項 30】 請求項 28 記載の受信機が更に、複数の送信アンテナから送信された信号を受信するための複数のアンテナを含む、前記受信機。

【請求項 31】 請求項 28 記載の受信機が更に：逆拡散器の出力に結合され、逆拡散されたシンボル・ストリームに基づいて評価されたチャンネル・インパルス応答を決定するためのチャンネル評価器を含み；復号器回路が逆拡散されたシンボル・ストリームに対し、評価されたチャンネル・インパルス応答にตอบสนองして開ループ・ダイバーシチおよび閉ループ・ダイバーシチを復号する、前記受信機。

【請求項 32】 請求項 31 の受信機が更に、復号器回路の出力に結合され、復号器回路から受信された情報に対してデインタリーブ機能を提供するためのデインタリーブを含む、前記受信機。

【請求項 33】 請求項 32 記載のシステムが更に、デインタリーブの出力に結合され、デインタリーブから受信された情報のデータ誤り率を改善するためのチャンネル復号器を含む、前記システム。

【請求項 34】 無線通信システムを運用するための方法であって：複数のシンボルを符号化器回路の中に受信し；複数の信号を形成するために、開ループ・ダイバーシチおよび閉ループ・ダイバーシチを複数のシンボルに適用し；複数の信号を複数のアンテナから受信機に送信する、以上のステップを含む、前記方法。

【請求項 35】 請求項 34 記載の方法において：複数のアンテナが複数組のアンテナを含み；開ループ・ダイバーシチおよび閉ループ・ダイバーシチを適用するステップが、複数のシンボルの内の選択されたシンボルに開ループ・ダイバーシチを適用して、そのアンテナの組内の任意の 1 つのアンテナで送信される信号が、そのアンテナの組内の別のアンテナから送信される信号に関して開ループ・ダイバーシチを表すようにしている、前記方法。

10 【請求項 36】 請求項 35 記載の方法において、アンテナの各々の組に対して、開ループ・ダイバーシチおよび閉ループ・ダイバーシチを適用するステップが、1つの重みを複数のシンボルに適用し、その重みにตอบสนองして送信される信号が、その他の全てのアンテナの組内のその他の全てのアンテナから送信された信号に関して閉ループ・ダイバーシチを表すようにしている、前記方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

20 【発明の属する技術分野】本発明は無線通信システムに係わり、更に詳細にはその様なシステム内で使用される複数の送信アンテナを具備した送信機に関する。

【0002】無線通信はビジネス、個人およびその他のアプリケーション分野で非常に流行するように成っており、その結果その様な通信に関する技術は種々の領域で進歩を続けている。その様な進歩の 1 つにはスペクトラム拡散通信が含まれ、これは符号分割多重アクセス ("CDMA") および広帯域符号分割多重アクセス ("WCDMA") セルラ通信を含む。その様な通信では、使用者局 (例えば、携帯セルラ電話機) は基地局と通信し、ここで典型的に基地局は 1 つの「セル」に対応する。

【0003】CDMA 通信が無線媒体に沿って行われる事実を含む種々の要因により、基地局から最初に送信された通信は使用者局に複数の異なる時間に到着することがある。最初は同一の通信に基づいて、各々異なって到着する信号は、同一送信通信から発せられて到着するその他の信号に対してダイバーシチ (diversity) を有すると言われる。更に種々のダイバーシチ型式が CDMA 通信では起こり得て、CDMA 技術は信号に影響を与える 40 1 つまたは複数のダイバーシチによって引き起こされた各々の信号上の効果を利用して、究極的に最初に送信されデータを受信し処理するように努力している。

【0004】CDMA ダイバーシチの 1 つの型式は、基地局から送信された信号が地面、山、建物、およびその他のその信号が接触する障害物で反射されることによって生じる。その結果、同一信号で送信された通信は受信機種々の異なる時刻に到着し、従って各々異なって到着する信号は異なるチャンネルを旅し異なる「パス」で到着すると言われる。これらの多重信号は当技術分野で多重経路またはマルチパスと呼ばれている。いくつかのマ

ルチパスは最終的に使用者局に到着し、各々が旅したチャンネルは各々のパスに対して異なる位相、強度および信号対雑音比（「SNR」）を与えるはずである。従って、1つの基地局と1つの使用者局との間の1つの通信に対して、各々のマルチパスは同一使用者情報の複製であり、各々のパスはその他のマルチパス（単数または複数）に相対的な時間ダイバーシチを有すると言われ、これは到着時刻が異なるためであり各々のマルチパスに関して異なる（相関の無い）フェージング／雑音特性の原因となる。マルチパスは同一の使用者情報を受信機に運ぶが、それらは各々のマルチパスの到着時刻に基づいて受信機により別々に認識されるはずである。更に詳細には、CDMA通信はバイナリ・パルス列で構成されている拡散符号を用いて変調されており、この符号はシンボル・データ速度よりもかなり高い速度で変化し、実際の送信帯域幅を決定する。現在の工業分野において、この符号に基づいて送信されるCDMA信号の各々の個片は「チップ」と呼ばれており、此处で各々のチップはCDMA符号の1構成要素に相当する。従って、チップ周波数がCDMA符号の速度を定める。チップを使用したCDMA信号の送信を使用することが分かれば、複数のこれらのチップで時間的に分散されたマルチパスは受信機で、当業技術分野で知られているCDMA符号の低自己相関を用いて識別可能である。

【0005】自然現象であるマルチプレクサパス・ダイバーシチに対比して、その他の型のダイバーシチはCDMAシステムの中にSNRを改善する努力として設計されている場合もあり、これによってその他のデータ精度（たとえばビット誤り率（「BER」））、フレーム誤り率（「FER」）、およびシンボル誤り率（「SER」）が改善される。そのような設計されたダイバーシチ技法の1例は、アンテナ・ダイバーシチであって、それをここで紹介するがそれは後程説明する好適な実施例の特定のアプリケーションを有するからである。アンテナ・ダイバーシチは、またはアンテナ配列（array）ダイバーシチと呼ばれる場合もあるが、同一局で複数のアンテナを使用する無線システムを言う。アンテナ・ダイバーシチはしばしば有効であることが証明されるが、それはフェージングが異なるアンテナ間で独立しているからである。更に多重アンテナを使用する局の意味は、多重アンテナを使用し単一アンテナ移動局から送信された信号を受信する基地局により典型的に関連しており、もっとも最近では多重アンテナを使用して単一アンテナ移動局に送信するための基地局が提案されている。これらの代替案は以下に更に検討される。

【0006】或るアンテナ配列ダイバーシチ技術では複数のアンテナを受信機側でを使用することを示唆しており、このやり方は受信アンテナ・ダイバーシチと名づけられている。例えば、従来技術によるアナログ・システムでは、基地局受信機には2本のアンテナが装備されて

いて、各々が単一アンテナ移動局からの信号を受信するためのものであった。従って、単一アンテナ移動局が基地局に送信する際、各々の受信機アンテナは処理を行うための少なくとも1つの対応する受信信号を提供する。多重受信アンテナを装備することにより、理想的受信機の性能は強化されるが、それは各々の対応する受信信号が別々に処理され組み合わせられてより高いデータ精度となるからである。

【0007】更に、最近では複数のアンテナを送信機側で使用することが提案されてきており、このやり方は送信アンテナ・ダイバーシチと名づけられている。例えば、移動通信の分野では基地局送信機には単一アンテナ移動局に送信するための2本のアンテナが装備されている。基地局で送信用に多重アンテナを使用することは、移動局で多重アンテナを使用するより好ましいと見られていて、それは移動局は典型的には携帯型または同等な装置の形であり、そのような装置では基地局でのそれに比較して低電力および処理要求が少ないことが望ましいからである。従って移動局での限られた資源では多重アンテナをサポートするのは向いておらず、一方比較的電力の高い基地局ではアンテナ・ダイバーシチにより簡単に手を貸すことができる。どちらの場合も、送信アンテナ・ダイバーシチはまたダイバーシチの1つの形式を提供し、これからSNRが信号アンテナ通信に対して改善されるが、それはダイバース信号を別々に処理し組み合わせることによって受信機側でのデータ精度がより高められるからである。また送信アンテナ・ダイバーシチに関連し、更にそれを先に説明したマルチパス・ダイバーシチと対比すると、単一局での多重送信アンテナは典型的に互いに数メートル（例えば3から4メートル）離れていて、この空間的な関係はまた空間ダイバーシチを提供すると言われる場合もある。空間的ダイバーシチ距離が与えられると、各々のアンテナで送信された同一信号は宛先（別のダイバーシチは無いと仮定する）に、送信アンテナ間の距離に関係するそれぞれの時刻に到着するはずである。しかしながらこれらの時間差はチップの幅よりも比較的小さいので、到着する信号を先に説明したマルチパスの場合と同じ方法で別々に区別することはできない。

【0008】送信アンテナ・ダイバーシチ技法が開発されることにより、送信アンテナ・ダイバーシチが与えられる受信機側でデータ認識を改善するために2の型式の信号通信技術が開発されている、すなわち閉ループ送信ダイバーシチと開ループ送信ダイバーシチである。閉ループ送信ダイバーシチと開ループ送信ダイバーシチは共に種々の形式で実現されるが、いずれの場合も2つの技法の間の差はフィードバックに関するものと言える。特に、閉ループ送信ダイバーシチ・システムはフィードバック通信チャンネルを含む一方、開ループ送信ダイバーシチ・システムは含まない。これらの両システム同様に

それらの間の差を更に詳細に以下に説明する。

【0009】図1は従来技術による閉ループ送信アンテナ・ダイバーシチ・システム10を図示し、送信機12と受信機14を含む。例として、送信機12は基地局で、一方受信機14は移動局と仮定する。また、説明を簡略化するために、これらの部品は各々別に後程説明する。最後に、システム10で実現されている閉ループ技術は当業分野で送信適応配列（「T x A A」）と呼ばれる事に注意されたい、一方その他の閉ループ技術もまた当業者には理解されるであろう。

【0010】送信機12は情報ビット B_i をチャンネル符号化器14の入力に受信する。チャンネル符号化器14は情報ビット B_i を生ビット誤り率を改善するように符号化する。種々の符号化技術をチャンネル符号化器で使用してビット B_i に適用することが可能であり、例えば畳み込み符号、ブロック符号、ターボ符号、またはこれらの符号の組み合わせを含む。チャンネル符号化器の符号化された出力はインタリーバ15の入力に結合される。インタリーバ15は符号化されたビットのブロックに対して作用し、それらのビットの順番をシャッフルしてこの操作をチャンネル符号化器での符号化とを組み合わせ、情報の時間ダイバーシチを使用するようにしている。例えば、インタリーバ15で実施される1つのシャッフル技術は、ビットをビットが一行ずつの形式でマトリクスの中に受信されるようにマトリクス形式で受信し、続いてこれらのビットがこのマトリクスからシンボル・マッピング器16に一つ一つの形式で出力される。続いてシンボル・マッピング器16はその入力ビットを全体として S_i で表わされているシンボルに変換する。変換されたシンボル S_i は種々の形式を取り得て、例えば4値位相シフト・キーイング変調（「QPSK」quadrature phase shift keying）シンボル、バイナリ位相シフト・キーイング変調（「BPSK」）シンボル、またはQAM変調（「QAM」quadrature amplitude modulation）シンボルがある。とにかく、シンボル S_i は種々の情報、例えば使用者データシンボル、同様にパイロット・シンボルおよび送信電力制御（「TPC」）シンボルや速度情報（「RI」）シンボルの様な制御シンボルを表す。シンボル S_i は変調器18に結合されている。変調器18は各々のデータ・シンボルを、疑似雑音（「PN」）デジタル信号またはPN符号またはその他の拡散符号（すなわちスペクトラム拡散技術を用いたもの）であるCDMA拡散シーケンスと組み合わせたり、または時間で掛け算することにより変調する。とにかく、拡散シーケンスは送信中に各々の送信信号にユニークな符号を割り当てることにより共通チャンネル上で情報を同時に送信することを容易にする。更に、このユニークな符号は同一帯域幅上で同時に送信された信号を、受信機14（またはその他の受信機）で識別可能とする。変調器18は2つの出力、掛け算器20₁に接続

された第1出力18₁と掛け算器20₂に接続された第2出力18₂とを有する。各々の掛け算器20₁と20₂はその入力に重み値、 W_1 および W_2 をそれぞれ掛け算し、それぞれの送信アンテナA12₁とA12₂に出力を提供する。例えば、送信アンテナA12₁とA12₂はおおよそ3から4メートル互いに離れていると仮定している。

【0011】受信機14は送信アンテナA12₁とA12₂の両方から通信を受信するための受信アンテナA14₁を含む。その様な通信は種々のマルチパスを通ることを想起されたい、また送信アンテナA12₁とA12₂の空間的關係のために、各々のマルチパスは両方の送信アンテナA12₁とA12₂からの通信を含むはずである。図1には全部で j 個のマルチパスが示されている。更に、各々のマルチパスはそれに関連したフェージング・チャンネル・パラメータ、すなわちそのチャンネルで搬送されている信号上に反映されるチャンネル効果のある値を有する。例として本文では文字 α がこのフェージング・パラメータを識別するために用いられている；更に、図1では取り決め

【外1】

$$\alpha_i^j$$

が使用されており、ここで $i = 1$ はアンテナA12₁で送信された経路を識別し、 $i = 2$ はアンテナA12₂で送信された経路を識別し、そして j はマルチパスを識別する。受信機14内でアンテナA14₁で受信された信号は逆拡散器（despreader）22に接続されている。逆拡散器22は既知の原理に従って動作し、例えばCDMA信号に受信機14用のCDMA符号を掛け算し、その出力に逆拡散されたシンボル・ストリームをそのシンボル速度で生成する。逆拡散器22で逆拡散された信号出力は開ループ・ダイバーシチ復号器23と、チャンネル評価器24に結合されている。チャンネル評価器24は評価されたチャンネル・インパルス応答を逆拡散された入力データに基づいて判定する。更にチャンネル評価器24は2つの出力を出す。チャンネル評価器24からの第1出力24₁は評価されたチャンネル・インパルス応答を開ループ・ダイバーシチ復号器23に出力する。評価を受信すると開ループ・ダイバーシチ復号器23はその評価を逆拡散器22から受信した逆拡散されたデータに適用する；更にこの点に関して個別には示されていないが、評価をデータに適用するに当たって種々の方法、例えば極大比率結合（MRC : maximal）により、レイク受信機（rake receiver）を使用して行えるであろう。チャンネル評価器24からの第2出力24₂は、評価またはそれらの評価から導かれた値をフィードバック・チャンネルを経由して送信機12に返信する。これらのフィードバック値は先に送信機12の掛け算器20₁および20₂に関して説明した重み W_1 および W_2 である。

【0012】受信機14の開ループ・ダイバーシチ復号

器 23 に戻ると、それがひとたび評価を逆拡散されたデータに適用すると、その結果はデインタリーバ (deinterleaver) 25 に出力され、これはインタリーバ 15 の機能の逆を実行し、デインタリーバ 25 の出力はチャンネル復号器 26 に接続される。チャンネル復号器 26 はビタビ復号器、ターボ復号器、ブロック復号器 (例えば、リード・ソロモン (Reed-Solomon) 復号)、または更に別の当業分野で知られている適切な復号技法を含む。いずれにしても、チャンネル復号器 26 は更にその入力を受信されたデータを復号し、典型的にはある種の誤り訂正符号に関して演算し、結果として復号されたシンボルのストリームを出力する。実際、チャンネル復号器 26 に入力されるデータに対する誤りの確率はチャンネル復号器 26 で処理された後に出力されるものに比べてかなり高いことに注意されたい。例えば、現在の基準の下で、チャンネル復号器 26 の出力内の誤りの確率は 10^{-3} から 10^{-6} の間である。最終的にチャンネル復号器 26 から出力される復号されたシンボル・ストリームは受信機 14 内の別の回路で受信され処理されるはずである、その様な回路は図 1 には図示はされていないが、それは今回の図と説明を簡略にするためである。

【0013】 詳細なシステム 10 について、議論をその閉ループ・システムとしての識別に戻す。特にシステム 10 は閉ループ・システムと呼ばれるが、それは送信機 12 から受信機 14 へのデータ通信チャンネルに加えて、システム 10 が重み W_1 および W_2 を受信機 14 から送信機 12 へ通信するためのフィードバック通信チャンネルを含むからである；従って、データ通信およびフィードバック通信チャンネルは環を生成するので「閉」ループ・システムとなる。更に重み W_1 および W_2 は種々のチャンネルに影響を与える要素を反映することに注意されたい。例えば、受信機 14 は送信機 12 から受信した信号のフェージング・レベルを確認しても良く、これらは例えば局地的な信号干渉並びに受信機 14 のドップラ速度 (移動局の場合) で引き起こされ、いずれにしてもフェージングはレーリ・フェージングで特徴付けられるものである。結果として、受信機 14 には重み W_1 および W_2 がフィードバックされ、これらの重みは掛け算器 20₁ および 20₂ で使用され、これによって重み W_1 を種々のシンボルに適用して送信機アンテナ A 12₁ から送信される信号を生成し、重み W_2 を種々のシンボルに適用して送信機アンテナ A 12₂ から送信される信号を生成する。従って、局 12 で送信される第 1 シンボル S_1 に関して、それは積 $W_1 S_1$ の一部としてアンテナ A 12₁ から送信され、また積 $W_2 S_1$ の一部としてアンテナ A 12₂ から送信される。従って、図示を目的としてこれらの重みの積がそれぞれのアンテナのそばに図 1 に示されている。

【0014】 次に従来技術の開ループ送信ダイバーシチ・システムに戻ると、これは一般的に図 1 の開ループ・

システム 10 と比較して説明することが可能であり、ここで第 1 の違いは従来技術の開ループ送信ダイバーシチ・システムはフィードバックを必要としないことである。従って、開ループ・システムを表す場合は図 1 の図を、フィードバック・チャンネル、重み W_1 および W_2 、そして掛け算器 20₁ および 20₂ を取り除くように修正すると、残ったブロックが一般的な開ループ送信ダイバーシチ・システムを図示する。開ループ送信ダイバーシチ・システムはフィードバックを含まないので、その代わりに各々の送信アンテナに対して別々にデータを調整するための代替技術を採用している。従って開ループ・システム受信機は既知の送信機調整の観点からデータを適切に評価しようと試みる。従って、開ループ・システムの受信機復号器内で実施される処理およびアルゴリズムは閉ループ・システムのそれとは異なるであろう。

【0015】 更に開ループ送信ダイバーシチを示すために、図 2 に例として従来技術による開ループ送信機 30 が図示されており、これは空間時間ブロック符号化送信アンテナ・ダイバーシチ ("STTD": space time block coded transmit antennadiversity) を提供するものであり、更にこの点に関して送信機 30 は STTD 符号化器 32 を含む。STTD 符号化器 32 は入力 34 を有し、これは例として時刻 T で第 1 シンボル S_1 を受信し、続いて時刻 2T で第 2 シンボル S_2 を受信するように図示されている。この例のために、シンボル S_1 および S_2 は QPSK シンボルであると仮定する。STTD 符号化器 32 は 2 つの出力 36₁ および 36₂ を有し、各々それぞれのアンテナ A 32₁ および A 32₂ に接続されている。

【0016】 送信機 30 の動作を次に検討するが、また一般的に上記より開ループシステム送信機は各々の送信アンテナでフィードバックの助けを借りずにデータを別々に調整することを想起されたい。送信機 30 の場合、STTD 符号化器 32 は最初、送信アンテナの数に等しいシンボル数をバッファに蓄える。図 2 の例において、これは 2 つの送信アンテナ A 32₁ および A 32₂ を有するので、STTD 符号化器 32 は 2 つのシンボル (例えば S_1 および S_2) をバッファに入れる。次に、STTD 符号化器 32 はバッファに蓄えられたシンボルをアンテナ A 32₁ から直接送信し、従って図 2 ではシンボル S_1 が時刻 T' でまた、シンボル S_2 が時刻 2T' で送信される。しかしながら同じ時刻に、アンテナ A 32₂ から送信するために、これらのシンボルの複素共役が形成され、その順序が入れ替えられる。従って、図 2 の例でこれらの 2 つの操作で反転された順序のシーケンス、

【外 2】

S_2^* と S_1^*

が生成される。更にアンテナ A 32₂ から送信される時、これら 2 つのシンボルの第 1 番目の負の値が送信され、一方第 2 シンボルの正の値が送信される。従って図

10

20

30

40

50

2のアンテナA32₂に関して、シンボル

$$-S_2^*$$

が時刻T'で送信され、シンボル

【外4】

$$S_1^*$$

が時刻2T'で送信される。STTD符号化器32で送信されたシンボルから、従って両立式受信機は比較的大きなドップラー速度であっても好ましいデータ誤り率が得られる方法でこれらのシンボルを解くことが可能である。最後にこれに代わる例として、シンボルS₁とS₂がBPSKシンボルであった場合、その様なシンボルは実数成分のみを含むであろう（すなわちそれらは虚数成分を含まない）。この場合、アンテナA32₁からシステム30はシンボルS₁を時刻T'で、またシンボルS₂を時刻2T'で送信し、一方アンテナA32₂からシステム30はシンボルS₂を時刻T'で、またシンボルS₁を時刻2T'で送信する。

【0017】閉ループ並びに開ループ送信アンテナ・ダイバーシチシステムの両方を詳細に説明したので、次に各々の利点および欠点に関して更に考察する。一般的に理想的な状況下では、送信信号電力が指定されているばかり、閉ループ・システムの方が開ループ・システムよりも性能が優れている。しかしながら、フィードバック情報の中に非理想的な状況が生じるために、閉ループ・システムが開ループ・システムよりも劣る状況もある。例えば、ドップラー・フェージングが増加すると、フィードバック情報が送信機で受信された時点では、そのフィードバック情報に含まれていたり、それから導き出される重みが比較的古いものとなってしまう場合があり、従って送信機で将来の送信に適用される際に効果が少なくなる。逆に言えば、開ループ・システムは受信機から送信機へフィードバックを行わないので、その様なシステムは高いドップラー環境の中ではより大きな性能を提供し得る。従来技術において、閉ループおよび開ループ・システム両方の欠点は、閉ループまたは開ループ・システム何れにおいてもアンテナの数を更に増やすという1つ方法で処理されてきた。この方法は同一システムに対してアンテナの数が少ない場合に比較して誤り率を改善するであろうが、データ誤り率を考慮するとシステムに更に多くのアンテナを追加する事で複雑さが増し利益が減ってしまう。更に、閉ループ・ダイバーシチ・システムに追加された各々のアンテナに対応して、追加された送信アンテナで必要とされる追加フィードバック情報を送信するために必要な帯域幅の量が増加する。

【0018】

【発明が解決しようとする課題】上記に鑑み、従来技術による閉ループ・システムおよび従来技術による開ループ・システムの欠点を改善する必要がある、これは以下

【外3】

に説明する好適な実施例で解決されている。

【0019】

【課題を解決するための手段】好適な実施例には、無線通信システムが提示されている。このシステムは複数のシンボルを受信するための符号化回路を含む送信機回路を有する。このシステムは更に送信機回路に結合され、送信機回路から受信機に信号を送信するための複数のアンテナを有し、これらの信号は複数のシンボルに対応している。更に符号化回路は、開ループ・ダイバーシチおよび閉ループ・ダイバーシチを複数のシンボルに適用して信号を形成するためのものである。その他の回路、システムおよび方法もまた開示され特許請求されている。

【0020】

【発明の実施の形態】図1及び2は本書の発明の背景の章で先に説明し、読者はその章で説明された詳細に詳しくと想定している。

【0021】図3は其中で好適な実施例が動作する今回の事例としてセルラシステム40の図を図示している。システム40内には基地局BSTが示されており、これは4本のアンテナAT1からAT4を含み、そこから基地局BSTはCDMAまたはWCDMA信号を送信（または受信）する。好適な実施例において、アンテナAT1からAT4のグループ内の各々のアンテナは、そのグループ内の他のアンテナからおよそ3から4メートルの範囲にある。しかしながら別の実施例では、多重送信アンテナは互いにもっと近い場合もあることに注意されたい；例えば、基地局BSTと使用者局USTが共に室内局であるような環境では、基地局BSTの多重送信アンテナ間の距離は数センチメートル程度（on the order of inches）である。図1の例に戻ると、基地局BSTが届くと意図されている一般的な領域が対応するセルを定め、従って基地局BSTはその他のセルラ装置と一般的に通信するように意図されている。このセルの外側には別の複数のセルが存在し、その各々はそれ自身に対応する基地局を有し、図示されているセルとこの図示されたセルに隣接する1つまたは複数のセルとの間にいくらかの重なりが存在すると意図されている。その様な重なりは移動通信局が1つのセルから別のセルへ移動する場合に連続的な通信をサポートすると考えられる。更にこの点に関して、システム40はまた使用者局USTを含み、これはその使用者局USTが移動体であることを強調するように自動車Vと接続して示されている。例として、使用者局USTはセルラ通信の送信および受信の両方を行うための1本のアンテナATUを含んでいる。

【0022】種々の機能に関して、システム40はセルラまたはその他の、CDMAまたはWCDMAを含むスペクトラム拡散通信の種々の型式に対して既知の一般的

技術に基づいて動作する。その様な一般的技術は当業分野では知られており、使用者局 U S T からの呼の開始およびその呼の基地局 B S T での処理を含む。しかしながらシステム 4 0 が従来技術と異なる点は、そのシステムおよび方法が 4 本のアンテナ A T 1 から A T 4 の各々から使用者局 U S T に信号を通信することである。これらの差異は図 4 を参照して更に詳細に説明する。

【0023】図 4 は図 3 のシステム 4 0 から基地局 B S T および使用者局 U S T の電気回路図を図示する。説明のために、基地局 B S T および使用者局 U S T を各々別々に下記説明する。しかしながらはじめに、当業者は下記の説明からシステム 4 0 は 3 本以上のアンテナ（例えば図 4 では 4 本）を具備した送信機を有し、その信号は開ループおよび閉ループ通信技術の組み合わせを用いて通信されることを理解されるであろう。

【0024】図 4 の基地局 B S T を見ると、これは送信機 4 2 を含みそれは更に 2 つの別々の S T T D 符号化器 4 4 および 4 6 を含み、これは共に同一のシンボル・ストリームを受信する。例として 2 つの入力シンボル、時刻 T でシンボル S_1 、そして時刻 2 T でシンボル S_2 が示されている。シンボル S_1 および S_2 は基地局 B S T 内の別の回路（図示せず）から提供され、それは送信機 4 2 の一部またはその外部にあって、その様な別回路は例として図 1 内の変調器 1 8 に先行する回路を参照することで理解されるであろう。S T T D 符号化器 4 4 に戻ると、これは出力 4 4₁ および 4 4₂ を有し、それぞれのアンテナ A T 1 および A T 2 に接続されている。S T T D 符号化器 4 6 は出力 4 6₁ および 4 6₂ を有し、それぞれのアンテナ A T 3 および A T 4 に接続されている。

【0025】送信機 4 2 の動作は下記の通りである。最初に、先にシステム 4 0 が開ループと閉ループ通信技術とを組み合わせていることに注意したことを想起されたい。図 4 の実施例において、またこれから詳細に説明す

— S_2^*

）が時刻 T' で通信され、続いて第 2 シンボルの共役の正の値（すなわち

【外 6】

S_1^*

）が時刻 2 T' で通信される。アンテナ A T 1 および A T 2 の対に関する先の説明から、システム 4 0 はそれらの送信アンテナの対に関して開ループ通信技術を実現していることが理解されよう。

【0027】システム 4 0 の開ループ・ダイバーシチ通信技術は、送信アンテナ A T 3 と A T 4 の対およびこれらのアンテナに信号を出力する S T T D 符号化器 4 6 を参照することで更に理解されるであろう。アンテナ A T

— S_2^*

るように、この組み合わせは S T T D 符号化器毎に開ループ通信技術を実施し、1 つの S T T D 符号化器ともう一方の S T T D 符号化器との間に閉ループ通信技術を実施することで実現されている。組み合わせに付いて述べる別の方法としてまた以下に理解されるように、システム 4 0 は開ループ通信技術をその送信アンテナの第 1 および第 2 対に対して実施し、また更に閉ループ・ダイバーシチ通信技術を第 2 送信アンテナ対と比較して第 1 送信アンテナ対の間に実施している。これらの異なる技術の各々、またそれらの組み合わせを以下に説明する。

【0026】送信機 4 2 の開ループ送信機能は S T T D 符号化器 4 4 を例として理解されるであろう、また S T T D 符号化器 4 4 からアンテナ A T 1 および A T 2 に出力される信号が図 4 に示されていることに注意されたい；これらの信号から、全ての信号が共通の重み因子 W_1 を有することが理解されよう、また後で行う閉ループ技術の説明から更に理解されるであろう、また開ループ技術を理解するためには直ぐ後の説明は無視されたい。S T T D 符号化器 4 4 の出力信号内の重み W_1 以外の因子を見ると、当業者はその様な信号は単独で開ループ・ダイバーシチ通信技術を表していることを理解するであろう。特に、S T T D 符号化器 4 4 は最初にそれが接続されているアンテナの数、この例では 2 本のアンテナ（すなわち、A T 1 と A T 2）に等しい数のシンボルをバッファに蓄える。従って S T T D 符号化器 4 4 はシンボル S_1 と S_2 をバッファに入れる。次に S T T D 符号化器 4 4 はバッファに蓄えられたシンボル S_1 および S_2 をアンテナ A T 1 から直接送信する、従って図 4 ではシンボル S_1 が時刻 T' で送信され、シンボル S_2 が時刻 2 T' で送信される。同時に、アンテナ A T 2 からの送信に備えて、シンボルの複素共役が形成され順序を入れ替えて、第 1 シンボルの共役の負の値（すなわち

【外 5】

3 と A T 4 から出力される信号を見ると、それらは各々共通の重み因子 W_2 を有する。S T T D 符号化器 4 6 の出力信号内の重み W_2 以外の因子を見ると、当業者はその様な信号はまた単独で開ループ・ダイバーシチ通信技術を表していることを理解するであろう。特に、S T T D 符号化器 4 6 またシンボル S_1 と S_2 をバッファに蓄え、先に説明した S T T D 符号化器 4 4 と同様の方法でそれらを送信する。従って S T T D 符号化器 4 6 はシンボル S_1 および S_2 をアンテナ A T 3 から（それぞれ時刻 T' と 2 T'）直接送信し、また S T T D 符号化器 4 6 は同時に第 2 シンボルの負のシンボル共役

【外 7】

15

を時刻 T' で送信し、続いて第 1 シンボルの正のシンボル共役

【外 8】

$$S_1^*$$

を時刻 $2T'$ で送信する。これらの通信は更に、システム 40 が送信アンテナ A T 3 および A T 4 の対に関して開ループ通信技術を実施していることを強調している。

【0028】送信機 42 の閉ループ・ダイバーシチ通信機能は、S T T D 符号化器 44 および 46 の出力信号の差異を調べ、並びに更に使用者局 U S T を考慮することにより理解されるであろう。最初に使用者局 U S T を見ると、これは逆拡散器 48、開および閉ループ・ダイバーシチ復号器 49、チャンネル評価器 50、デインタリバ 51、およびチャンネル復号器 52 を含む。これらの装置の各々は、当業者には理解可能で図 1 に関連して先に説明した種々の機能の技術に基づいて構築され動作している；しかしながら、更にシステム 40 は開ループおよび閉ループ通信技術の組み合わせを用いて信号を通信していることを想起されたい。従って、復号器 49 は開ループおよび閉ループ・ダイバーシチ復号の両方を実行するように構築されていなければならない、また好適にこれらの動作は両方のダイバーシチ型式に関して同時でなければならないが、それはそれらのダイバーシチ型式が共に受信機 U S T で受信される信号の中に組み合わせられて居るからであり、これは本書で説明した組み合わせ式開および閉ループ送信アンテナ・ダイバーシチ技術からも理解されるであろう。本説明のこの時点で、チャンネル評価器 50 は評価されたチャンネル・インパルス応答を入力された逆拡散データに基づき後ほど詳細に説明する方法で判定し、その評価を復号器 49 に出力 50_i 経由で提供することに加えて、これはまた出力 50₂ を経由してその評価、またはそれらの評価から導かれた値を、フィードバック・チャンネルを経由して基地局 B S T に提供する。これらのフィードバック値は図 4 で重み W_1 および W_2 として示されており、個別にまたは比率（例えば W_2/W_1 ）として戻される。次に基地局 B S T の送信機 42 に戻ると、これはその閉ループ機能を実施するために重み W_1 および W_2 を使用することが理解されよう。特に、重み W_1 は S T T D 符号化器 44 に関連されているかまたはその一部である掛け算器 44_a に結合されており、その結果重み W_1 は S T T D 符号化器 44 から出力される各々のシンボルに掛け算される。従って、 W_1 の因子は図 4 において S T T D 符号化器 44 からの各々の出力信号（すなわちアンテナ A T 1 および A T 2 から送信される）の中に見られる。同様に重み W_2 は S T T D 符号化器 46 に関連されているかまたはその一部である掛け算器 46_a に結合されており、その結果重み W_2 は S T T D 符号化器 46 から出力される各々のシンボルに掛け算される。従って、 W_2 の因子は図 4 に

16

において S T T D 符号化器 46 からの各々の出力信号（すなわちアンテナ A T 3 および A T 4 から送信される）の中に見られる。従って異なる重みが基地局 B S T の異なる出力信号の中に含まれており、それらの重みは使用者局 U S T からのフィードバック・チャンネルに応答する。従って、異なる重みをシステム 40 で使用することは、1 対の送信アンテナ（例えば A T 1 と A T 2）に対するもう一方の対の送信アンテナ（例えば A T 3 と A T 4）の間での閉ループ通信技術を示している。

【0029】システム 40 の閉ループ機能の中で重み W_1 と W_2 を使用することを示したので、次にチャンネル評価器 50 でこれらの値の最適値を生成することに注意を向ける。特にこれらの重みは下記の通り計算される。最初、下記の式 1 は更に重み W_1 および W_2 を生成するために行列、

【外 9】

$$\bar{W}$$

を定義する：

【0030】

【数 1】

$$\bar{W} = \begin{bmatrix} W_1 \\ W_2 \end{bmatrix}$$

式 1

【0031】次に下記の式 2 および 3 はシステム 40 内の各々のアンテナ A T 1 から A T 4 に対するチャンネル・インパルス応答行列を定義し、此处で h_i はシステム 40 内のアンテナ A T_i に対するチャンネル・インパルス応答である。

【0032】

【数 2】

$$H_1 = [h_1 \quad h_2]$$

式 2

【0033】

【数 3】

$$H_2 = [h_3 \quad h_4]$$

式 3

【0034】式 2 および 3 の各々に関して、全部で N 本の解明可能なマルチパスが基地局 B S T から使用者局 U S T に存在する場合、 h_i は更にそれらのマルチパスの各々に関するベクトルとして更に定義され、それは下記の式 4 に示される：

【0035】

【数 4】

$$h_i = \begin{bmatrix} \alpha_i^1 \\ \alpha_i^2 \\ \vdots \\ \alpha_i^N \end{bmatrix}$$

式 4

【0036】次に、項 r_i が式 5 で定義され、これは時間 $[0, T)$ の間で送信された信号を拡散解除し、雑音因子、 n_i を考慮に入れた使用者局 U S T で受信された信号である：

【0037】

50

【数 5】

$$r_1 = h_1 W_1 S_1 - h_2 W_1 S_2^* + h_3 W_2 S_1 - h_4 W_2 S_2^* + n_1 \quad \text{式 5}$$

【0038】同様に、項 r_2 が式 6 で定義され、これは時間 $[T, 2T)$ の間で送信された信号を逆拡散し、雑音因子、 n_2 を考慮に入れた使用者局 UST で受信された信号である：

【0039】

$$r_1 = (h_1 W_1 + h_3 W_2) S_1 - (h_2 W_1 + h_4 W_2) S_2^* + n_1 = H_1 \bar{W} S_1 - H_2 \bar{W} S_2^* + n_1 \quad \text{式 7}$$

【0042】先の式を変形して、値 r_2 に関して式 8 が求められる：

$$r_2 = (h_2 W_1 + h_4 W_2) S_1^* + (h_1 W_1 + h_3 W_2) S_2 + n_2 = H_2 \bar{W} S_1^* + H_1 \bar{W} S_2^* + n_2 \quad \text{式 8}$$

【0044】信号 r_1 と r_2 が復号器 52 に達すると、これらは STTD 技術分野で知られている方法で復号される。従ってこの復号は、下記の式 9 で表され、記号 $(\cdot)^H$ がベクトルの共役転置行列を表し、記号 $(\cdot)^T$ がベクトルの転置行列を表し、そして記

$$\begin{aligned} \bar{W}^H H_1^H r_1 + \bar{W}^T H_2^T r_2^* = \\ (\bar{W}^H H_1^H H_1 \bar{W}) S_1 + (\bar{W}^T H_2^T H_2^* \bar{W}^*) S_1 + \bar{W}^H H_1^H n_1 + \bar{W}^T H_2^T n_2^* \end{aligned} \quad \text{式 9}$$

【0046】

【外 10】

$$\bar{W}^T H_2^T H_2^* \bar{W}^*$$

$$\bar{W}^T H_2^T H_2^* \bar{W}^* = (\bar{W}^T H_2^T H_2^* \bar{W}^*)^* = \bar{W}^H H_2^H H_2 \bar{W} \quad \text{式 10}$$

【0048】従って式 10 は下記の式 11 を意味する。

【0049】

$$\begin{aligned} \bar{W}^H H_1^H r_1 + \bar{W}^T H_2^T r_2^* = \\ (\bar{W}^H (H_1^H H_1 + H_2^H H_2) \bar{W}) S_1 + \bar{W}^H H_1^H n_1 + \bar{W}^T H_2^T n_2^* \end{aligned} \quad \text{式 11}$$

【0050】従って、同様に

【0051】

$$\begin{aligned} -\bar{W}^T H_2^T r_1^* + \bar{W}^H H_1^H r_2 = \\ (\bar{W}^H (H_1^H H_1 + H_2^H H_2) \bar{W}) S_2 - \bar{W}^T H_2^T n_1^* + \bar{W}^H H_1^H n_2 \end{aligned} \quad \text{式 12}$$

【0052】シンボル S_1 の信号対雑音比は式 13 で与えられる。

【0053】

【数 13】

$$\begin{aligned} SNR(S_1) = \frac{(\bar{W}^H (H_1^H H_1 + H_2^H H_2) \bar{W})^2}{E[(\bar{W}^H H_1^H n_1 + \bar{W}^T H_2^T n_2^*)(\bar{W}^H H_1^H n_1 + \bar{W}^T H_2^T n_2^*)^*]} = \\ \frac{(\bar{W}^H (H_1^H H_1 + H_2^H H_2) \bar{W})}{\sigma^2} \end{aligned} \quad \text{式 13}$$

ここで

【0054】

【数 14】

$$\sigma^2 = E[n_1^H n_1] = E[n_2^H n_2]$$

であって雑音の分散である。

【0055】同様にシンボル S_2 に対する SNR は式 14 で与えられる：

【0056】

【数 15】

【数 6】

$$r_2 = h_1 W_1 S_2 + h_2 W_1 S_1^* + h_3 W_2 S_2 + h_4 W_2 S_1^* + n_2 \quad \text{式 6}$$

【0040】先の式を変形して、値 r_1 に関して式 7 が求められる：

【0041】

【数 7】

【0043】

10 【数 8】

号 $(\cdot)^*$ がその共役を表すという取り決めを用いると：

【0045】

【数 9】

20 は実数なので、下記の式 10 の属性が成立する。

【0047】

【数 10】

【数 11】

30 【数 12】

$$SNR(S_2) = \frac{(\bar{W}^H (H_1^H H_1 + H_2^H H_2) \bar{W})}{\sigma^2} \quad \text{式 14}$$

【0057】式 13 および 14 を重みベクトルに関して最大化することは行列

【外 11】

$$(H_1^H H_1 + H_2^H H_2)$$

の固有値を計算することを意味する。 V_1, V_2 が 2 つの

50 固有ベクトルを示し、 μ_1, μ_2 が対応する固有値を示す

ものとする。使用者局 UST が最大固有値を具備する固有ベクトルを取ることは次を意味する：

【0058】

【数16】

$$\mu_1 > \mu_2 \Rightarrow \bar{W} = V_1$$

$$\mu_2 > \mu_1 \Rightarrow \bar{W} = V_2$$

式 15

【0059】使用者局 UST は続いて重み値 W_1 および W_2 を基地局 BST に返送する。重み $W_1 = 1$ と正規化することにより、使用者局 UST はオプションとして比率 (W_2 / W_1) のみを基地局 BST に返送し、基地局 BST は続いてこれらの重みをアンテナにそれぞれ設定する。

【0060】更に式 1 から 15 を更に簡単のために図示し、基地局 BST から使用者局 UST へただ 1 本のマル

$$r^1 = S_1(W_1\alpha_1^1 + W_2\alpha_3^1) - S_2^*(W_1\alpha_2^1 + W_2\alpha_4^1) + N_2 \quad \text{式 18}$$

$$r^2 = S_2(W_1\alpha_1^1 + W_2\alpha_3^1) + S_1^*(W_1\alpha_2^1 + W_2\alpha_4^1) + N_1 \quad \text{式 19}$$

【0065】式 18 および 19 に代入し、

【数20】

$$\tilde{\alpha} = (W_1\alpha_1^1 + W_2\alpha_3^1), \tilde{\beta} = (W_1\alpha_2^1 + W_2\alpha_4^1)$$

とすると、当業者は式 18 および 19 が標準 STTD の形式であることが理解されるであろう、STTD 復号された後の各々のシンボル S_1 および S_2 の全 SNR は下記の式 20 でしめされる：

【0066】

【数21】

$$\frac{|(W_1\alpha_1^1 + W_2\alpha_3^1)|^2 + |(W_1\alpha_2^1 + W_2\alpha_4^1)|^2}{\sigma^2} \quad \text{式 20}$$

【0067】システム 40 の詳細を説明したので、その種々の特長は明らかであろう。例えば、システム 40 は N を基地局 BST から使用者局 UST へのパスの数とする時、 $2N$ パス・ダイバーシチが得られる。別の例として、開ループ単独の方法に比較して、平均 SNR で 3 dB の利得が増加するが、それは 2 つのアンテナ・グループ（すなわち、AT1 と AT2 に対して AT3 と AT4）の間で開ループ送信ダイバーシチを使用するためである。更に別の例として、 W_1 および W_2 フィードバック情報を提供するために必要な逆リンク帯域幅は 2 本のアンテナのみに対応しているのに対し、システム 40 は 4 本の送信アンテナをサポートしている。最後の例として、使用者局 UST での受信データの処理操作が各々のシンボル S_1 、 S_2 に対して標準の STTD 復号を使用して実施できることである。先に述べた各々の特長から、当業者は好適な実施例は、指定された（すなわち閉または開）ダイバーシチ技法に対して、送信アンテナの数が増える従来技術の手法で必要とされるものよりも複雑さ

チパスのみしか存在しないと仮定するとこれは $N=1$ を意味する。この仮定を置くことにより、使用者局 UST は式 16 および 17 で示される逆拡散された下記の 2 つのシンボルを受信する：

【0061】

【数17】

$$r^1 = W_1(\alpha_1^1 S_1 - \alpha_2^1 S_2^*) + W_2(\alpha_3^1 S_1 - \alpha_4^1 S_2^*) + N_2 \quad \text{式 16}$$

【0062】

【数18】

$$r^2 = W_1(\alpha_1^1 S_2 + \alpha_2^1 S_1^*) + W_2(\alpha_3^1 S_2 + \alpha_4^1 S_1^*) + N_1 \quad \text{式 17}$$

ここで N_1 および N_2 は追加の白色ガウス雑音である。

【0063】式 16 および 17 からそれぞれ式 18 および 19 が導かれる：

【0064】

【数19】

20 を最小限にしてより良い性能が得られることが理解されよう。好適な実施例の更に別の特長として、その様な実施例が詳細に説明されてきたが、種々の挿入、修正または代替が本発明の範囲を逸脱することなく、上記の説明に対して行えるであろう。本発明の柔軟性を更に理解するために、好適な実施例の範囲内で考慮された種々の追加の変更例を以下に示す。

【0068】システム 40 の例を 4 本の送信アンテナを使用して説明してきたが、システム 40 の発明を実施する場合、異なる数のアンテナを具備した無線システムにも適用可能であり、そこでも送信アンテナの全個数の副集合の間で開ループ送信ダイバーシチおよび閉ループ送信ダイバーシチの組み合わせを使用する。例えば、6 本の送信アンテナを含むことを考慮している 1 つのこれに代わる実施例において、説明のためにその様なアンテナを AT10 から AT15 と呼ぶことにする。このシステムにおいて、開ループ送信ダイバーシチはそれらのアンテナの対に対して適用できる、すなわち第 1 アンテナ対 AT10 と AT11、第 2 アンテナ対 AT12 と AT13、そして第 3 アンテナ対 AT14 と AT15 である。更に、開ループ送信ダイバーシチをこれらのアンテナ対の各々の間に適用することが可能であり、これによって第 1 重みが第 1 アンテナ対で送信される信号に適用され、第 2 重みが第 2 アンテナ対で送信される信号に適用され、そして第 3 重みが第 3 アンテナ対で送信される信号に適用される。別の例として、開ループ送信ダイバーシチと閉ループ送信ダイバーシチの組み合わせが 8 本のアンテナを具備した送信機に適用できる。しかしながらこのケースでは、種々の付加的代替方法が存在する。例えば、8 本のアンテナを 4 対のアンテナに分割し、ここで開ループ送信ダイバーシチは各々のアンテナ対の間に

適用され、そして閉ループ送信ダイバーシチが各々のアンテナ対の間に適用される（すなわち 4 つの異なる重みが各々のアンテナ対に対して 1 つ）。これに代わって、8 本のアンテナを 4 本のアンテナずつ 2 セットに分け、ここで閉ループ送信ダイバーシチが 4 本のアンテナの各々のセット内に適用され、閉ループ送信ダイバーシチがそれらのセットの間に適用される（すなわち、2 つの異なる重みが 4 本のアンテナの各々のセットに対して 1 つ）。

【0069】先の例では 3 本以上の送信アンテナで説明してきたが、本発明の趣旨に鑑み閉ループ送信ダイバーシチと閉ループ送信ダイバーシチの組み合わせは 2 本の送信アンテナのみを具備する送信機に対しても有効であることが理解されるであろう。特に、閉ループ・ダイバーシチ・システム内の送信機が将来の送信のための重みを求めるために受信機からフィードバックを受信している場合、何らかの要因で（例えば高いドップラーなど）送信機に対して重みの信頼性が低下したことを通知される場合が生じるであろう；従ってその様なアプリケーションに対して、好適な実施例に代わる方法が開ループ・ダイバーシチ技術を閉ループ送信に付加して生成され、これによって組み合わせダイバーシチ・システムが生成される。図 5 その様なアプリケーションの例を示し、以下に詳細に説明する。

【0070】図 5 は開および閉ループ符号化器 60 を図示し、これは図 4 に関連して先に説明した送信機 42 の様な送信機内に含まれるものである。符号化器 60 は 1 つの入力 62 を有し、これは例として時刻 T で第 1 シンボル S_1 をそして続いて時刻 2 T で第 2 シンボル S_2 を受信するように示されており、ここでも例としてシンボル S_1 および S_2 は QPSK シンボルと仮定している。S T

$$-W_4 S_2^*$$

に減じられる。これら 2 つの加数から共通因子 W_4 を取り除くと、当業者は残りの因子（すなわちアンテナ A 6

$$-S_2^*$$

）が互いに相手に対して開ループ・ダイバーシチを有することが理解されよう。開ループ・ダイバーシチに関してこれと同一なことが時刻 2 T' でも見られるであろう。特に $W_3 = 0$ の場合、時刻 2 T' で符号化器 60 から出力される信号はアンテナ A 60₁ からの出力 $W_4 S_2$ とアンテナ A 60₂ からの出力

【外 15】

$$W_4 S_1^*$$

に減じられる。これら 2 つの加数から共通因子 W_4 を取り除くと、当業者は残りの因子（すなわちアンテナ A 60₁ に対して S_2 そしてアンテナ A 60₂ に対して

【外 16】

TD 符号化器 32 は 2 つの出力 64₁ と 64₂ を有し、その各々はそれぞれのアンテナ A 60₁ および A 60₂ に接続されている。

【0071】符号化器 60 の動作は先に説明した原理、そして更にアンテナ A 60₁ および A 60₂ の出力として示されている信号に鑑みて理解されるであろう。例えば、時刻 T' においてアンテナ A 60₁ は 2 つの加数、 $W_3 W_1 S_1 + W_4 S_1$ で形成された組み合わせ信号を出力し、一方同一時刻 T' において、アンテナ A 60₂ は 2 つの加数、

【外 12】

$$W_3 W_2 S_1 - W_4 S_2^*$$

で形成された組み合わせ信号を出力する。開および閉ループ・ダイバーシチを組み合わせる概念はこれらの組み合わせ信号の各々の信号内の加数を見ることにより理解されよう；特に以下に示されるように、符号化器 60 は送信される各々の信号が 2 つの加数を含むように動作し、ここで 2 番目に挙げた加数は閉ループ・ダイバーシチを有し、1 番目に挙げた加数は開ループ・ダイバーシチを有する。各々のダイバーシチの型式について以下に個別に説明する。

【0072】符号化器 60 で通信される開ループ加数を理解するために、 $W_3 = 0$ と仮定すると、この場合アンテナ A 60₁ と A 60₂ から時刻 T' に通信される信号は先に示された組み合わせ信号の第 2 番目に挙げられた加数のみに削減される。特に、 $W_3 = 0$ に対して時刻 T' に符号化器 60 から出力される信号はアンテナ A 60₁ からの出力 $W_4 S_1$ とアンテナ A 60₂ からの

【外 13】

0₁ に対して S_1 そしてアンテナ A 60₂ に対して

【外 14】

$$S_1^*$$

）が互いに相手に対して開ループ・ダイバーシチを有することが理解されよう。

【0073】符号化器 60 で通信される閉ループ加数を理解するために、 $W_4 = 0$ と仮定すると、この場合アンテナ A 60₁ と A 60₂ から時刻 T' に通信される信号は先に示された組み合わせ信号の第 1 番目に挙げられた加数のみに削減される。従って、 $W_4 = 0$ に対して時刻 T' に符号化器 60 から出力される信号はアンテナ A 60₁ からの出力 $W_3 W_1 S_1$ とアンテナ A 60₂ からの $W_3 W_2 S_1$ に減じられる。これら 2 つの加数から共通因子 W_3 を取り除くと、当業者は残りの因子（すなわちアンテナ

50

A 6 0₁ に対して W₁ S₁、そしてアンテナ A 6 0₂ に対して W₂ S₁ が、それらが同一シンボルを含み各々のシンボルに異なる重みを掛け算した積を表しているので、互いに相手に対して閉ループ・ダイバーシチを有することが理解されよう。閉ループ・ダイバーシチに関してこれと同一なことが時刻 2 T' でも見られるであろう。特に W₁ = 0 の場合、時刻 2 T' で符号化器 6 0 から出力される信号はアンテナ A 6 0₁ からの出力 W₁ S₁ とアンテナ A 6 0₂ からの出力 W₂ S₁ に減じられる。ここでも、これら 2 つの加数から共通因子 W₁ を取り除くと、当業者は残りの因子（すなわちアンテナ A 6 0₁ に対して W₁ S₁、そしてアンテナ A 6 0₂ に対して W₂ S₁）が互いに相手に対して開ループ・ダイバーシチを有することが理解されよう。

【0074】図 5 の説明を纏めると、符号化器 6 0 は再び 2 セットの送信アンテナを具備する送信機をサポートしていることが理解されよう、この場合各々のセットは先に説明した実施例の場合の多重アンテナでは無く単一アンテナから構成されている。送信機は、送信機（すなわちその符号化器）から通信するための信号を形成するために、いくつかのシンボルに異なる重みを適用して閉ループ・ダイバーシチを実施するようにフィードバックをその受信機から受信しているが、一方その送信機から通信されるその他の信号は開ループ・ダイバーシチ技術に基づいて選択的に修正されるシンボルとして残っている。

【0075】本発明の範囲の更に別の例として、開ループおよび閉ループ送信ダイバーシチの型式もまた、好適な実施例に適用される際に変更できるであろう。従って、T x A A が開ループ技術として、また S T T D が開ループ技術として示されてきたが、これらの 1 つまたは両方を相当する代替技術で置き換え多重送信アンテナ・システムに適用して、組み合わせ式開ループおよび開ループ送信アンテナ・システムを提供することができる。実際、先に 4 本のアンテナのセットに分けられた 8 本のアンテナを有する本発明のシステムが例として上げられていたことを想起されたい、ここでは開ループ送信ダイバーシチが各々の 4 本のアンテナのセットの中に適用されている。この場合、4 本のアンテナの 1 つのセットの中で適用された開ループ送信ダイバーシチのアプリケーションは共役をもつばら送信するものではない型式の開ループ・ダイバーシチを要求するであろう；言葉を変えると、共役のみを使用すると 2 つの異なる信号を提供する一方、4 本の異なるアンテナに対しては開ループダイバーシチを実施するために対応する 4 つの異なる信号が要求される。従ってその他の実施例と同様これに対して、ことなる開ループ・ダイバーシチ手法が実施される。例えば、別の開ループ・ダイバーシチ技術が直交送信ダイバーシチ（“OTD”）を含む好適な実施例に基づいて実施されており、これは図 6 の単一 OTD 符号化

器 7 0 および B P S K シンボルとして示されている。図 6 において、OTD 符号化器 7 0 はシンボルを送信するために 4 本のアンテナ A 7 0₁ から A 7 0₄ に結合されている。更に、動作中に OTD 符号化器 7 0 はアンテナ数に等しい数のシンボル（すなわち図 6 の例では 4）をバッファに蓄え、従って各々のアンテナは対応する 1 つのシンボルのみを、別のアンテナから送信されるその他の全てのシンボルと直交する形式で送信する。これらの形式は図 6 の中にアンテナ A 7 0₁ から A 7 0₄ から時刻 T' から 4 T' の間に出力されるシンボルとして示されている。更に簡単のために、図 6 は OTD 動作のみを図示しており、従って閉ループ・ダイバーシチの組み合わせを実施するための重みの使用は示していない。それにも係わらず、閉ループ重み動作を付加することは当業者にとってその他の実施例に関してなされた先の説明から容易に実施できるであろう。好適な実施例に基づいて使用される、これらに代わる開ループ・ダイバーシチの別の例として、図 7 は 4 本のアンテナ A 8 0₁ から A 8 0₄ に対する S T T D 符号化器 8 0 を図示している。図 7 の約束事は先の例から容易に理解されるであろう、ここで信号はアンテナ A 8 0₁ から A 8 0₄ より送信され、従って開ループ・ダイバース信号を表し、またこの例ではシンボルは B P S K シンボルである。また図 6 の事例と同様、簡単のために図 7 は開ループ・ダイバーシチ動作（すなわち S T T D）のみを図示し、従って図 7 は閉ループ・ダイバーシチを実施するための重みの使用は示していないが、その様な重みの使用は当業者は本書の教えるところに従って実施できるであろう。好適な実施例に基づいて使用される、これらに代わる開ループ・ダイバーシチの別の例として、図 8 は 4 本のアンテナに対する時間切換時間ダイバーシチ（“TSTD”）を図示している。最後に、切換ダイバーシチを含む更に別の実施例を生成するために、別の閉ループダイバーシチ技術が使用できる。

【0076】本発明の範囲の更に別の例として、種々のその様な技術が別の無線システムに適用できることを注意されたい。例えば、先の技術は無線通信用の第 3 世代パートナーシップ・プロジェクト（“3GPP”）に適合するシステム、および 3GPP 2 システム、同様に更に別の標準または非標準システムに適用可能である。更に、先の例は CDMA システム（または WCDMA システム）内で示されて来たが、好適な実施例は、拡散利得 1 を有する時分割多重アクセス（“TDMA”）システム内の開ループおよび閉ループ・ダイバーシチの両方を組み合わせた送信機アンテナ・ダイバーシチを含んで実施できる。

【0077】本発明の範囲の最後の例として、先の実施例は 1 本のアンテナのみを有する受信機に関連して示されてきたが、多重受信アンテナを使用するシステムも考慮されていることを注意されたい。言葉を代えると、先

10

20

30

40

50

の説明は受信アンテナ・ダイバーシチの種々の技術と組み合わせることが可能である。

【0078】先の説明から、当業者は添付の特許請求項で定義されている本発明の範囲の種々の特徴を理解できるであろう。

【0079】(関連特許) 本明細書は、1999年5月28日提出の、米国仮明細書第60/136,413 (T1-29286PS) の35 U. S. C. §119(e)(1) 記載の利益を請求しており、これは此処に挙げることで本明細書に組み込まれている。

【図面の簡単な説明】

【図1】図1は従来技術による閉ループ送信アンテナ・ダイバーシチ・システムの電氣的回路図を図示する。

【図2】図2は従来技術による閉ループ送信アンテナ・ダイバーシチ・システム内の送信機の電氣的回路図を図示する。

【図3】図3は其中で好適な実施例が動作する現在の例として、セルラ通信システムの図を示す。

【図4】図4は図3の好適な基地局送信機および移動局受信機の回路図を図示する。

【図5】図5は2本のアンテナから送信するための開および閉ループ符号化器を図示する。

【図6】図6は4本のアンテナから開ループ・ダイバーシチ信号を送信するためのOTD符号化器を図示する。

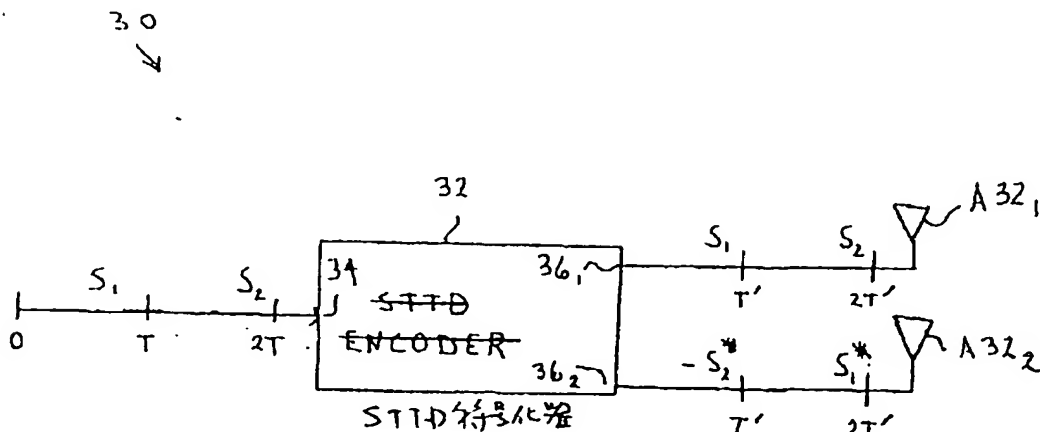
【図7】図7は4本のアンテナから開ループ・ダイバーシチ信号を送信するための空間時間ブロック符号化送信アンテナ・ダイバーシチ符号化器を図示する。

【図8】図8は4本のアンテナから開ループ・ダイバーシチ信号を送信するための時間切換時間ダイバーシチ符号化器を図示する。

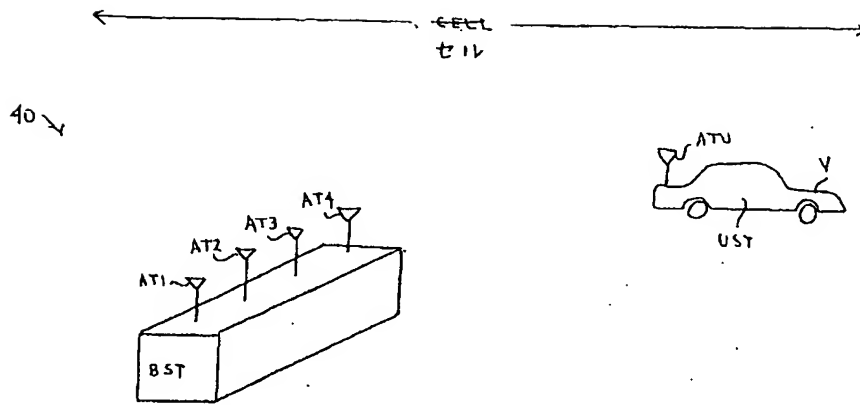
【符号の説明】

- | | |
|--------|------------------------|
| 10 | 閉ループ送信アンテナ・ダイバーシチ・システム |
| 12 | 送信機 |
| 14 | チャンネル符号化器 |
| 15 | インタリーバ |
| 16 | シンボル・マッピング器 |
| 18 | 変調器 |
| 22 | 逆拡散器 |
| 23 | 開ループ・ダイバーシチ復号器 |
| 24 | チャンネル評価器 |
| 25 | デインタリーバ |
| 26 | チャンネル符号化器 |
| 32 | STTD符号化器 |
| 42 | 送信機 |
| 44, 46 | STTD符号化器 |
| 48 | 逆拡散器 |
| 49 | 開および閉ループ・ダイバーシチ復号器 |
| 50 | チャンネル評価器 |
| 51 | デインタリーバ |
| 52 | チャンネル符号化器 |
| 60 | 開および閉ループ符号化器 |
| 70 | OTD符号化器 |
| 80 | STTD符号化器 |

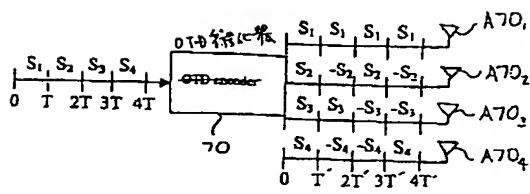
【図2】



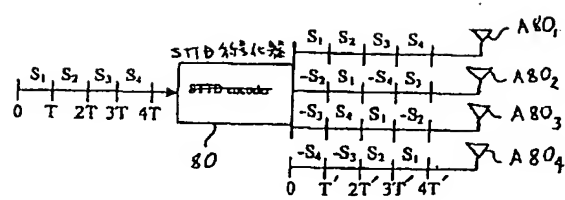
【図 3】



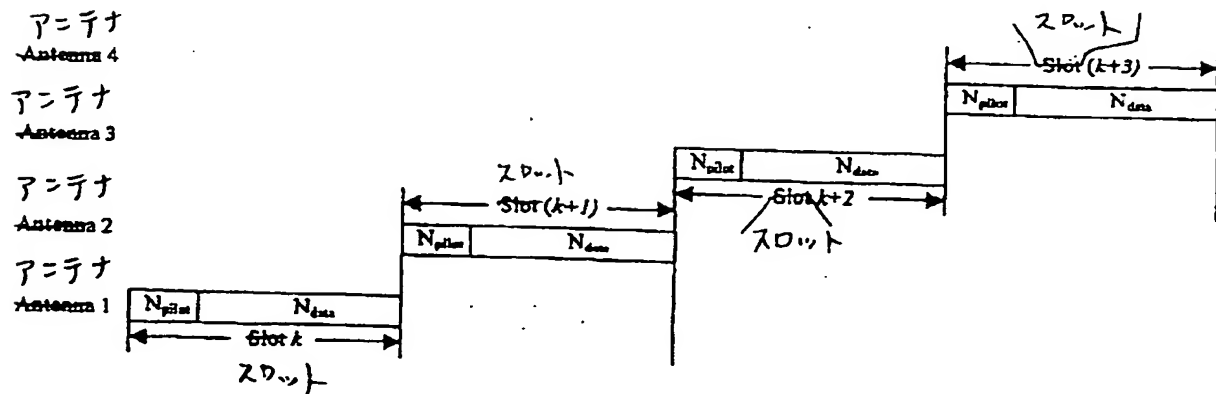
【図 6】



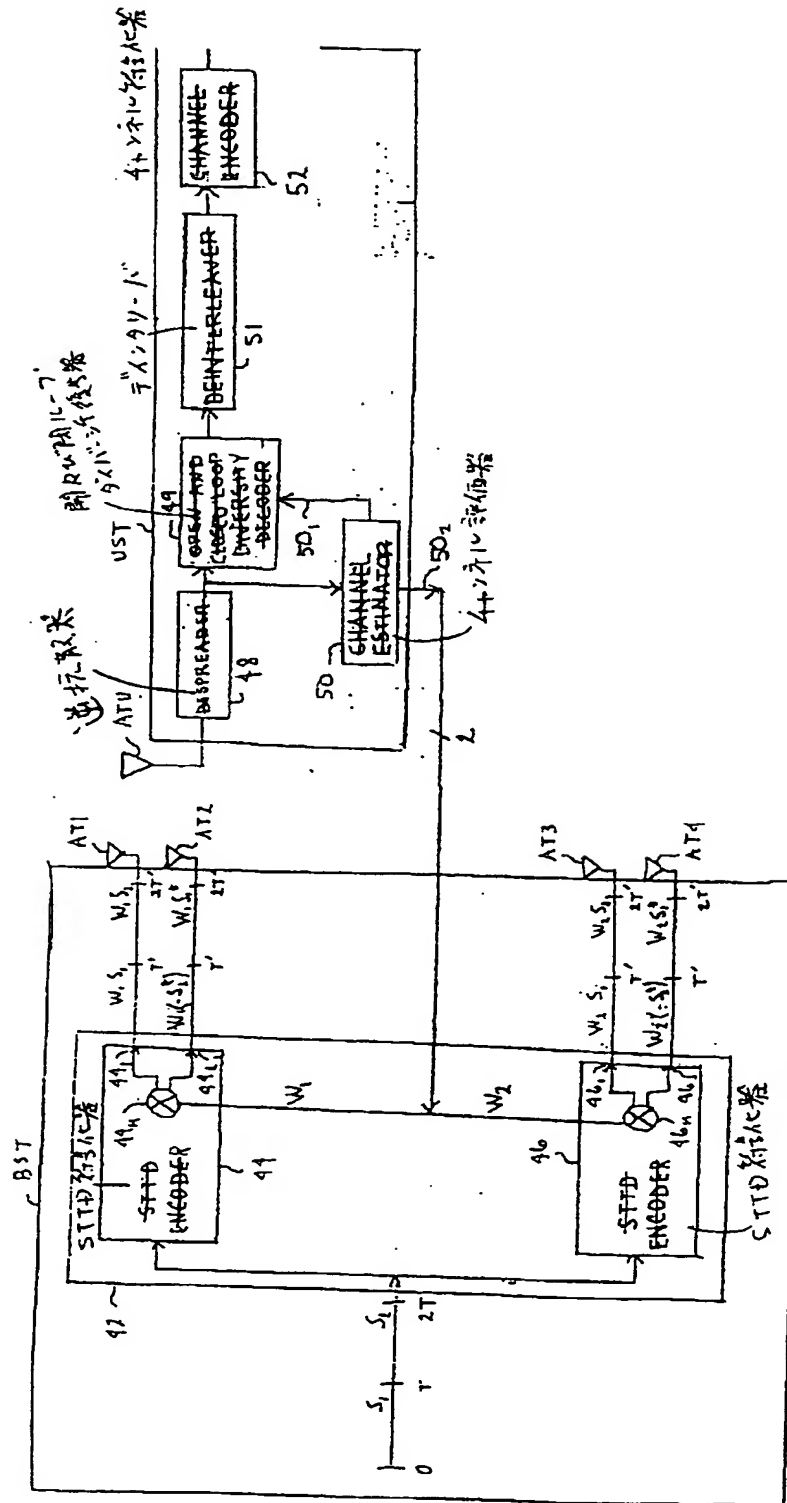
【図 7】



【図 8】



【図 4】



【外国語明細書】

TITLE OF THE INVENTION

Wireless System With Transmitter Having Multiple Transmit Antennas And
Combining Open Loop and Closed Loop Transmit Diversities

CROSS-REFERENCES TO RELATED APPLICATIONS

This application claims the benefit, under 35 U.S.C. §119(e)(1), of U.S.
5 Provisional Application No. 60/136,413 (TI-29286PS), filed May 28, 1999, and
incorporated herein by this reference.

10 STATEMENT REGARDING FEDERALLY SPONSORED RESEARCH OR
DEVELOPMENT

Not Applicable.

BACKGROUND OF THE INVENTION

The present embodiments relate to wireless communications systems and,
15 more particularly, to transmitters with multiple transmit antennas used in such
systems.

Wireless communications have become very prevalent in business,
personal, and other applications, and as a result the technology for such
communications continues to advance in various areas. One such advancement
20 includes the use of spread spectrum communications, including that of code

TI-29286

PATENT

division multiple access ("CDMA") and wideband code division multiple access ("WCDMA") cellular communications. In such communications, a user station (e.g., a hand held cellular phone) communicates with a base station, where typically the base station corresponds to a "cell."

5 Due to various factors including the fact that CDMA communications are along a wireless medium, an originally transmitted communication from a base station to a user station may arrive at the user station at multiple and different times. Each different arriving signal that is based on the same original communication is said to have a diversity with respect to other arriving signals
10 originating from the same transmitted communication. Further, various diversity types may occur in CDMA communications, and the CDMA art strives to ultimately receive and process the originally transmitted data by exploiting the effects on each signal that are caused by the one or more diversities affecting the signal.

 One type of CDMA diversity occurs because a transmitted signal from the
15 base station is reflected by objects such as the ground, mountains, buildings, and other things that it contacts. As a result, a same single transmitted communication may arrive at the receiver at numerous different times, and assuming that each such arrival is sufficiently separated in time, then each different arriving signal is said to travel along a different channel and arrive as a
20 different "path." These multiple signals are referred to in the art as multiple paths or multipaths. Several multipaths may eventually arrive at the user station and the channel traveled by each may cause each path to have a different phase, amplitude, and signal-to-noise ratio ("SNR"). Accordingly, for one communication between one base station and one user station, each multipath is a replica of the
25 same user information, and each path is said to have time diversity relative to other multipath(s) due to the difference in arrival time which causes different (uncorrelated) fading/noise characteristics for each multipath. Although multipaths carry the same user information to the receiver, they may be separately

TI-29286

PATENT

recognized by the receiver based on the timing of arrival of each multipath. More particularly, CDMA communications are modulated using a spreading code which consists of a series of binary pulses, and this code runs at a higher rate than the symbol data rate and determines the actual transmission bandwidth. In the
5 current industry, each piece of CDMA signal transmitted according to this code is said to be a "chip," where each chip corresponds to an element in the CDMA code. Thus, the chip frequency defines the rate of the CDMA code. Given the use of transmission of the CDMA signal using chips, then multipaths separated in time by more than one of these chips are distinguishable at the receiver because of the
10 low auto-correlations of CDMA codes as known in the art.

In contrast to multipath diversity which is a natural phenomenon, other types of diversity are sometimes designed into CDMA systems in an effort to improve SNR, thereby improving other data accuracy measures (e.g., bit error rate ("BER"), frame error rate ("FER"), and symbol error rate ("SER")). An example of
15 such a designed diversity scheme is antenna diversity and is introduced here since it has particular application to the preferred embodiments discussed later. Antenna diversity, or sometimes referred to as antenna array diversity, describes a wireless system using more than one antenna by a same station. Antenna diversity often proves useful because fading is independent across different
20 antennas. Further, the notion of a station using multiple antennas is more typically associated with a base station using multiple antennas to receive signals transmitted from a single-antenna mobile station, although more recently systems have been proposed for a base station using multiple antennas to transmit signals transmitted to a single-antenna mobile station. Each of these alternatives is
25 further explored below.

Certain antenna array diversity techniques suggest the use of more than one antenna at the receiver, and this approach is termed receive antenna diversity. For example, in prior art analog systems, often a base station receiver was

TI-29286

PATENT

equipped with two antennas, each for receiving a signal from a single-antenna mobile station. Thus, when the single-antenna mobile station transmits to the base station, each receiver antenna provides at least one corresponding received signal for processing. By implementing multiple receive antennas, the performance of an ideal receiver is enhanced because each corresponding received
5 signal may be separately processed and combined for greater data accuracy.

More recently there have been proposals to use more than one antenna at the transmitter, and this approach is termed transmit antenna diversity. For example, in the field of mobile communications, a base station transmitter is
10 equipped with two antennas for transmitting to a single-antenna mobile station. The use of multiple antennas at the base station for transmitting has been viewed as favorable over using multiple antennas at the mobile station because typically the mobile station is in the form of a hand-held or comparable device, and it is desirable for such a device to have lower power and processing requirements as
15 compared to those at the base station. Thus, the reduced resources of the mobile station are less supportive of multiple antennas, whereas the relatively high-powered base station more readily lends itself to antenna diversity. In any event, transmit antenna diversity also provides a form of diversity from which SNR may be improved over single antenna communications by separately processing and
20 combining the diverse signals for greater data accuracy at the receiver. Also in connection with transmit antenna diversity and to further contrast it with multipath diversity described above, note that the multiple transmit antennas at a single station are typically within several meters (e.g., three to four meters) of one another, and this spatial relationship is also sometimes referred to as providing
25 spatial diversity. Given the spatial diversity distance, the same signal transmitted by each antenna will arrive at a destination (assuming no other diversity) at respective times that relate to the distance between the transmitting antennas. However, the difference between these times is considerably smaller than the width

TI-29286

PATENT

of a chip and, thus, the arriving signals are not separately distinguishable in the same manner as are multipaths described above.

Given the development of transmit antenna diversity schemes, two types of signal communication techniques have evolved to improve data recognition at the receiver given the transmit antenna diversity, namely, closed loop transmit diversity and open loop transmit diversity. Both closed loop transmit diversity and open loop transmit diversity have been implemented in various forms, but in all events the difference between the two schemes may be stated with respect to feedback. Specifically, a closed loop transmit diversity system includes a feedback communication channel while an open loop transmit diversity system does not. Both of these systems as well as the distinction between them are further detailed below.

Figure 1 illustrates a prior art closed loop transmit antenna diversity system including a transmitter 12 and a receiver 14. By way of example, assume that transmitter 12 is a base station while receiver 14 is a mobile station. Also, for the sake of simplifying the discussion, each of these components is discussed separately below. Lastly, note that the closed loop technique implemented by system 10 is sometimes referred to in the art as a transmit adaptive array ("TxAA"), while other closed loop techniques also should be ascertainable by one skilled in the art.

Transmitter 12 receives information bits B_i at an input to a channel encoder 14. Channel encoder 14 encodes the information bits B_i in an effort to improve raw bit error rate. Various encoding techniques may be used by channel encoder 14 and as applied to bits B_i , with examples including the use of convolutional code, block code, turbo code, or a combination of any of these codes. The encoded output of channel encoder 14 is coupled to the input of an interleaver 15. Interleaver 15 operates with respect to a block of encoded bits and shuffles the ordering of those bits so that the combination of this operation with the encoding

TI-29286

PATENT

by channel encoder 14 exploits the time diversity of the information. For example, one shuffling technique that may be performed by interleaver 15 is to receive bits in a matrix fashion such that bits are received into a matrix in a row-by-row fashion, and then those bits are output from the matrix to a symbol mapper 16 in a column-by-column fashion. Symbol mapper 16 then converts its input bits to symbols, designated generally as S_i . The converted symbols S_i may take various forms, such as quadrature phase shift keying ("QPSK") symbols, binary phase shift keying ("BPSK") symbols, or quadrature amplitude modulation ("QAM") symbols. In any event, symbols S_i may represent various information such as user data symbols, as well as pilot symbols and control symbols such as transmit power control ("TPC") symbols and rate information ("RI") symbols. Symbols S_i are coupled to a modulator 18. Modulator 18 modulates each data symbol by combining it with, or multiplying it times, a CDMA spreading sequence which can be a pseudo-noise ("PN") digital signal or PN code or other spreading codes (i.e., it utilizes spread spectrum technology). In any event, the spreading sequence facilitates simultaneous transmission of information over a common channel by assigning each of the transmitted signals a unique code during transmission. Further, this unique code makes the simultaneously transmitted signals over the same bandwidth distinguishable at receiver 14 (or other receivers). Modulator 18 has two outputs, a first output 18₁ connected to a multiplier 20₁ and a second output 18₂ connected to a multiplier 20₂. Each of multipliers 20₁ and 20₂ multiplies its input times a weight value, W_1 and W_2 , respectively, and provides an output to a respective transmit antenna A12₁ and A12₂. By way of example, assume that transmit antennas A12₁ and A12₂ are approximately three to four meters apart from one another.

Receiver 14 includes a receive antenna A14₁ for receiving communications from both of transmit antennas A12₁ and A12₂. Recall that such communications may pass by various multipaths, and due to the spatial relationship of transmit antennas A12₁ and A12₂, each multipath may include a communication from both

TI-29286

PATENT

transmit antenna A12₁ and transmit antenna A12₂. In the illustration of Figure 1, a total of j multipaths are shown. Further, each multipath will have a fading channel parameter associated with it, that is, some value that reflects the channel effects on the signal carried by the channel. By way of reference, the character α is used in this document to identify this fading parameter; moreover, in Figure 1, the convention α_i^j is used, where $i=1$ identifies a path transmitted by the antenna A12₁, $i=2$ identifies a path transmitted by the antenna A12₂, and j identifies the multipath. Within receiver 14, signals received by antenna A14₁ are connected to a despreader 22. Despreader 22 operates according to known principles, such as by multiplying the CDMA signal times the CDMA code for receiver 14, thereby producing a despread symbol stream at its output and at the symbol rate. The despread signals output by despreader 22 are coupled to an open loop diversity decoder 23, and also to a channel estimator 24. Channel estimator 24 determines estimated channel impulse responses based on the incoming despread data. Further, channel estimator 24 provides two outputs. A first output 24₁ from channel estimator 24 outputs the estimated channel impulse responses to open loop diversity decoder 23. In response to receiving the estimates, open loop diversity decoder 23 applies the estimates to the despread data received from despreader 22; further in this regard and although not separately shown, the application of the estimate to the data may be by way of various methods, such as maximal ratio combining (MRC) and using a rake receiver. A second output 24₂ from channel estimator 24 communicates the estimates, or values derived from those estimates, back to transmitter 12 via a feedback channel. These feedback values are the weights W_1 and W_2 described above with respect to multipliers 20₁ and 20₂ of transmitter 12.

Returning to open loop diversity decoder 23 of receiver 14, once it applies the estimates to the despread data, its result is output to a deinterleaver 25 which operates to perform an inverse of the function of interleaver 15, and the output of deinterleaver 25 is connected to a channel decoder 26. Channel decoder 26 may

TI-29286

PATENT

include a Viterbi decoder, a turbo decoder, a block decoder (e.g., Reed-Solomon decoding), or still other appropriate decoding schemes as known in the art. In any event, channel decoder 26 further decodes the data received at its input, typically operating with respect to certain error correcting codes, and it outputs a resulting
5 stream of decoded symbols. Indeed, note that the probability of error for data input to channel decoder 26 is far greater than that after processing and output by channel decoder 26. For example, under current standards, the probability of error in the output of channel decoder 26 may be between 10^{-3} and 10^{-6} . Finally, the decoded symbol stream output by channel decoder 26 may be received and
10 processed by additional circuitry in receiver 14, although such circuitry is not shown in Figure 1 so as to simplify the present illustration and discussion.

Having detailed system 10, attention is now returned to its identification as a closed loop system. Specifically, system 10 is named a closed loop system because, in addition to the data communication channels from transmitter 12 to
15 receiver 14, system 10 includes the feedback communication channel for communicating weights W_1 and W_2 from receiver 14 to transmitter 12; thus, the data communication and feedback communication channels create a circular and, hence, "closed" loop system. Note further that weights W_1 and W_2 may reflect various channel affecting aspects. For example, receiver 14 may ascertain a level
20 of fading in signals it receives from transmitter 12, such as may be caused by local interference and other causes such as the Doppler rate of receiver 14 (as a mobile station), and in any event where the fading may be characterized by Rayleigh fading. As a result, receiver 14 feeds back weights W_1 and W_2 , and these weights are used by multipliers 20₁ and 20₂, thereby applying weight W_1 to various
25 symbols to provide a transmitted signal along transmitter antenna A12₁ and applying weight W_2 to various symbols to provide a transmitted signal along transmitter antenna A12₂. Thus, for a first symbol S_1 to be transmitted by station 12, it is transmitted as part of a product $W_1 S_1$ along transmitter antenna A12₁ and also as part of a product $W_2 S_1$ along transmitter antenna A12₂. By way of

TI-29286

PATENT

illustration, therefore, these weighted products are also shown in Figure 1 along their respective antennas.

Turning now to a prior art open loop transmit diversity system, it may be described generally and in comparison to the closed loop system 10 of Figure 1, where the primary distinction is that the prior art open loop transmit diversity system does not require feedback. Thus, to depict an open loop system the illustration of Figure 1 may be modified by removing the feedback channel, weights W_1 and W_2 , and multipliers 20_1 and 20_2 , with the remaining blocks thereby generally illustrating an open loop transmit diversity system. Given that the open loop transmit diversity system does not include feedback, it instead employs an alternative technique to adjust data differently for each of its transmit antennas. Therefore, the open loop system receiver then attempts to properly evaluate the data in view of the known transmitter adjustment. Thus, the processing and algorithms implemented within the receiver decoder of an open loop system will differ from those in a closed loop system.

To further depict open loop transmit diversity, Figure 2 illustrates, by way of example, a prior art open loop transmitter 30 that is referred to as providing space time block coded transmit antenna diversity ("STTD"), and further in this regard transmitter 30 includes an STTD encoder 32. STTD encoder 32 has an input 34, which by way of example is shown to receive a first symbol S_1 at a time T followed by a second symbol S_2 at a time $2T$. For the sake of the present example, assume that symbols S_1 and S_2 are QPSK symbols. STTD encoder 32 has two outputs 36_1 and 36_2 , each connected to a respective antenna $A32_1$ and $A32_2$.

The operation of transmitter 30 is now explored, and recall in general from above that open loop system transmitters adjust data differently at each transmit antenna without the assistance of feedback. In the case of transmitter 30, STTD encoder 32 first buffers a number of symbols equal to the number of transmit antennas. In the example of Figure 2 which has two transmit antennas $A32_1$ and

TI-29286

PATENT

A32₂, STTD encoder 32 therefore buffers two symbols (e.g., S_1 and S_2). Next, STTD encoder 32 directly transmits the buffered symbols along antenna A32₁ and, thus, in Figure 2 symbol S_1 is transmitted at a time T' and symbol S_2 is transmitted at a time $2T'$. During the same time, however, and for transmission along antenna A32₂, the complex conjugates of the symbols are formed and reversed in order. For the example of Figure 2, therefore, these two operations create, in the reversed order, a sequence of S_2^* and S_1^* . Moreover, when transmitted along antenna A32₂, the negative value of the first of these two symbols is transmitted while the positive value of the second symbol is transmitted. Accordingly, in Figure 2 and with respect to antenna A32₂, a symbol $-S_2^*$ is transmitted at a time T' and a symbol S_1^* is transmitted at a time $2T'$. From the symbols transmitted by STTD encoder 32, a compatible receiver is therefore able to resolve the symbols in a manner that often yields favorable data error rates even given relatively large Doppler rates. Finally, note also by way of an alternative example that if symbols S_1 and S_2 were BPSK symbols, then such symbols would include only real components (i.e., they do not include a complex component). In this case, along antenna A32₁ system 30 would transmit symbol S_1 at time T' and symbol S_2 at time $2T'$, while along antenna A32₂ system 30 would transmit symbol S_2 at time T' and symbol $-S_1$ at time $2T'$.

Having detailed both closed loop and open loop transmit antenna diversity systems, additional observations are now made regarding the benefits and drawbacks of each. In general, under the ideal situation, a closed loop system outperforms an open loop system for a given transmitted signal power. However, due to non-ideal occurrences in the feedback information, a closed loop system may be inferior to an open loop system in some situations. For example, as Doppler fading increases, by the time the feedback information is received by the transmitter, the weights included or derived from the feedback information may be relatively outdated and therefore less effective when applied to future transmissions by the transmitter. Conversely, because the open loop system does

TI-29286

PATENT

not implement feedback from the receiver to the transmitter, then such a system may provide greater performance in a high Doppler environment. In the prior art, the drawbacks of both the closed loop and open loop systems have been addressed in one manner by further increasing the number of antennas in either the closed
5 loop or open loop system. While this approach may improve error rates as compared to fewer antennas for the same system, there are diminishing returns in data error rates to be considered versus the complexities of adding more antennas to a system. Moreover, for each antenna added to a closed loop diversity system, there is a corresponding increase in the amount of bandwidth required to
10 accommodate the additional feedback information required for the added transmit antenna.

In view of the above, there arises a need to improve upon the drawbacks of prior art closed loop systems and prior art open loop systems, and such a need is addressed upon by the preferred embodiments described below.

TI-29286

PATENT

BRIEF SUMMARY OF THE INVENTION

In the preferred embodiment, there is a wireless communication system. The system comprises transmitter circuitry comprising encoder circuitry for receiving a plurality of symbols. The system further comprises a plurality of
5 antennas coupled to the transmitter circuitry and for transmitting signals from the transmitter circuitry to a receiver, wherein the signals are responsive to the plurality of symbols. Further, the encoder circuitry is for applying open loop diversity and closed loop diversity to the plurality of symbols to form the signals. Other circuits, systems, and methods are also disclosed and claimed.

TI-29286

PATENT

BRIEF DESCRIPTION OF THE SEVERAL VIEWS OF THE DRAWING

Figure 1 illustrates an electrical diagram of a prior art closed loop transmit antenna diversity system.

Figure 2 illustrates an electrical diagram of a transmitter in a prior art open
5 loop transmit antenna diversity system.

Figure 3 illustrates a diagram of a cellular communications system by way of a contemporary example in which the preferred embodiments operate.

Figure 4 illustrates an electrical diagram of the preferred base station transmitter and mobile station receiver of Figure 3.

10 Figure 5 illustrates an open and closed loop encoder for transmitting along two antennas.

Figure 6 illustrates an OTD encoder for transmitting open loop diverse signals along four antennas.

15 Figure 7 illustrates a space time block coded transmit antenna diversity encoder for transmitting open loop diverse signals along four antennas.

Figure 8 illustrates a time switched time diversity encoder for transmitting open loop diverse signals along four antennas.

TI-29286

PATENT

DETAILED DESCRIPTION OF THE INVENTION

Figures 1 and 2 were described above in the Background Of The Invention section of this document and the reader is assumed to be familiar with the details described in that section.

5 Figure 3 illustrates a diagram of a cellular communications system 40 by way of a contemporary example in which the preferred embodiments operate. Within system 40 is shown a base station BST, which includes four antennas AT1 through AT4 along which base station BST may transmit (or receive) CDMA or WCDMA signals. In the preferred embodiment, each antenna in the group of
10 antennas AT1 through AT4 is within approximately three to four meters of another antenna in the group. In other embodiments, however, note that the multiple transmit antennas may be much closer to one another; for example, in an environment where base station BST and user station UST are both indoor stations, the distance between the multiple transmit antennas of base station BST
15 may be on the order of inches. Returning to the example of Figure 1, the general area of intended reach of base station BST defines a corresponding CELL and, thus, base station BST is intended to generally communicate with other cellular devices within that CELL. Beyond the CELL there may other cells, each having its own corresponding base station, and indeed there may be some overlap between
20 the illustrated CELL and one or more other cells adjacent the illustrated CELL. Such overlap is likely to support continuous communications should a mobile communication station move from one cell to another. Further in this regard, system 40 also includes a user station UST, which is shown in connection with a vehicle V to demonstrate that user station UST is mobile. By way of example, user
25 station UST includes a single antenna ATU for both transmitting and receiving cellular communications.

In various respects, system 40 may operate according to known general techniques for various types of cellular or other spread spectrum communications,

TI-29286

PATENT

including CDMA or WCDMA communications. Such general techniques are known in the art and include the commencement of a call from user station UST and the handling of that call by base station BST. Where system 40 differs from the prior art, however, is the system for, and method of, communicating signals from each of the four antennas AT1 through AT4 to user station UST. These distinctions are further detailed below in connection with Figure 4.

Figure 4 illustrates an electrical block diagram of base station BST and user station UST from system 40 of Figure 3. For the sake of discussion, each of base station BST and user station UST is separately detailed below. By way of introduction, however, one skilled in the art will appreciate from the following details that system 40 presents a transmitter with more than two antennas (e.g., four in Figure 4), where its signals are communicated using a combination of open loop and closed loop communication techniques.

Looking to base station BST in Figure 4, it includes a transmitter 42 which further includes two separate STTD encoders 44 and 46, both of which receive the same stream of symbols. By way of example, two input symbols are shown, a symbol S_1 at a time T and a symbol S_2 at a time $2T$. Symbols S_1 and S_2 may be provided by other circuitry (not shown) within base station BST that is either part of transmitter 42 or external from it, and such other circuitry may be appreciated by way of example with reference to the circuitry preceding modulator 18 in Figure 1. Returning to STTD encoder 44, it has outputs 44_1 and 44_2 connected to respective antennas AT1 and AT2. STTD encoder 46 has outputs 46_1 and 46_2 connected to respective antennas AT3 and AT4.

The operation of transmitter 42 is as follows. First, recall it is noted above that system 40 combines open loop and closed loop communication techniques. In the embodiment of Figure 4 and as now presented in detail, this combination is achieved by implementing an open loop communication technique per STTD encoder and by implementing a closed loop communication technique as between

TI-29286

PATENT

one STTD encoder versus another STTD encoder. As another manner of stating the combination and as further appreciated below, system 40 implements an open loop communication technique for a first and second pair of its transmit antennas, and it further implements a closed loop diversity communication technique as
5 between the first transmit antenna pair relative to the second transmit antenna pair. Each of these different techniques, and their combination, is discussed below.

The open loop communication aspect of transmitter 42 may be appreciated by way of example with respect to STTD encoder 44, and note that the signals
10 output by STTD encoder 44 to antennas AT1 and AT2 are shown in Figure 4; from these signals, it may be appreciated that all of the signals have a common factor of a weight, W_1 , which is further appreciated from the later discussion of the closed loop technique and which for the immediately following discussion is ignored so as to appreciate the open loop technique. Looking now to the factors other than the
15 weight, W_1 , in the output signals of STTD encoder 44, one skilled in the art will appreciate that such signals alone represent an open loop diversity communication technique. Specifically, STTD encoder 44 first buffers a number of symbols equal to the number of transmit antennas to which it is connected, which is two antennas (i.e., AT1 and AT2) in the present example. Thus, STTD encoder 44
20 buffers symbols S_1 and S_2 . Next, STTD encoder 44 directly transmits the buffered symbols S_1 and S_2 along antenna AT1 and, thus, in Figure 4 symbol S_1 is transmitted at a time T' and symbol S_2 is transmitted at a time $2T'$. During the same time, and for transmission along antenna AT2, the complex conjugate of the symbols are formed and reversed in order, and after the reversal the negative value
25 of the first symbol conjugate is communicated (i.e., $-S_2^*$) at time T' followed by the positive value of the second symbol conjugate (i.e., S_1^*) at time $2T'$. Given the preceding with respect to the pair of antennas AT1 and AT2, it should be

TI-29286

PATENT

appreciated that system 40 implements an open loop communication technique relative to that transmit antenna pair.

The open loop diversity communication technique of system 40 may be appreciated further with reference to the pair of transmit antennas AT3 and AT4 and STTD encoder 46 which outputs signals to those antennas. Looking to the signals output along antennas AT3 and AT4, they each have a common factor of a weight, W_2 . Looking to the factors other than the weight, W_2 , in the output signals of STTD encoder 46, such signals alone also represent an open loop diversity communication technique. Specifically, STTD encoder 46 also buffers symbols S_1 and S_2 and transmits them in the same manner as STTD encoder 44 described above. Thus, STTD encoder 46 directly transmits symbols S_1 and S_2 along antenna AT3 (at time T' and $2T'$, respectively) and STTD 46 encoder at the same time transmits $-S_2^*$, the negative symbol conjugate of the second symbol, at time T' followed by S_1^* , the positive symbol conjugate of the first symbol, at time $2T'$. These communications further demonstrate that system 40 implements an open loop communication technique relative to the pair of transmit antennas AT3 and AT4.

The closed loop diversity communication aspect of transmitter 42 may be appreciated by examining the differences in the output signals of STTD encoders 44 and 46, and further in view of user station UST. Looking first to user station UST, it includes a despreader 48, an open and closed loop diversity decoder 49, a channel estimator 50, a deinterleaver 51, and a channel decoder 52. Each of these devices may be constructed and operate according to techniques in various respects ascertainable by one skilled in the art and in view of the earlier discussion relative to Figure 1; further, however, recall that system 40 communicates signals using a combination of open loop and closed loop communication techniques. Thus, decoder 49 should be constructed to perform both open loop and closed loop diversity decoding, and preferably these operations should be simultaneous with

TI-29286

PATENT

respect to both diversity types since those diversity types are both combined into the signals received by receiver UST, as will be appreciated further in view of the combined open and closed loop transmit antenna diversity techniques described in this document. At the present point in this discussion, note that channel
5 estimator 50 determines estimated channel impulse responses based on the incoming despread data as further detailed below, and in addition to providing the estimates to decoder 49 via an output 50₁, it also provides via an output 50₂ the estimates, or values derived from those estimates, back to base station BST via a feedback channel. These feedback values are shown in Figure 4 as weights W_1
10 and W_2 and may be returned individually or as a ratio (e.g., W_2/W_1). Returning now to transmitter 42 of base station BST, its use of weights W_1 and W_2 to implement its closed loop aspect now may be appreciated. Specifically, weight W_1 is coupled to a multiplier 44_M associated with or as part of STTD encoder 44, and as a result weight W_1 is multiplied times each symbol to be output by STTD
15 encoder 44. Accordingly, the factor of W_1 may be seen in Figure 4 in each of the output signals from STTD encoder 44 (i.e., as transmitted by antennas AT1 and AT2). Similarly, weight W_2 is coupled to a multiplier 46_M associated with or as part of STTD encoder 46, and as a result weight W_2 is multiplied times each symbol to be output by STTD encoder 46. Accordingly, the factor of W_2 may be seen in
20 Figure 4 in each of the output signals from STTD encoder 46 (i.e., as transmitted by antennas AT3 and AT4). Thus, different weights are included within different output signals of base station BST and those weights are in response to the feedback channel from user station UST. Accordingly, the use of the different weights by system 40 demonstrates a closed loop communication technique as
25 between one pair of transmit antennas (e.g., AT1 and AT2) relative to another pair of transmit antennas (e.g., AT3 and AT4).

Having demonstrated the use of weights W_1 and W_2 in the closed loop aspect of system 40, attention is now directed to the generation of the optimum value for those weights by channel estimator 50. Specifically, these weights are

TI-29286

PATENT

calculated as follows. First, the following Equation 1 defines a matrix, \overline{W} , for further generation of the weights W_1 and W_2 :

$$\overline{W} = \begin{bmatrix} W_1 \\ W_2 \end{bmatrix} \quad \text{Equation 1}$$

5 Next, the following Equations 2 and 3 define channel impulse response matrices for each of antennas AT1 through AT4 in system 40, where h_i is the channel impulse response matrix for antenna ATi in system 40.

$$H_1 = \begin{bmatrix} h_1 & h_3 \end{bmatrix} \quad \text{Equation 2}$$

$$10 \quad H_2 = \begin{bmatrix} h_2 & h_4 \end{bmatrix} \quad \text{Equation 3}$$

For each of Equations 2 and 3, if there are a total of N resolvable multipaths from base station BST to user station UST, then h_i is further defined as a vector relating to each of those multipaths as shown in the following Equation 4:

$$15 \quad h_i = \begin{bmatrix} \alpha_i^1 \\ \alpha_i^2 \\ \alpha_i^N \end{bmatrix} \quad \text{Equation 4}$$

Next, a term r_1 is defined in Equation 5 and is the signal received by user station UST after despreading the signal transmitted over time $[0, T)$ and taking into account a noise factor, n_1 :

$$20 \quad r_1 = h_1 W_1 S_1 - h_2 W_1 S_2 + h_3 W_2 S_1 - h_4 W_2 S_2 + n_1 \quad \text{Equation 5}$$

Similarly, a term r_2 is defined in Equation 6 and is the signal received by user station UST after despreading the signal transmitted over time $[T, 2T)$, and
25 taking into account a noise factor, n_2 :

TI-29286

PATENT

$$r_2 = h_1 W_1 S_2 + h_2 W_1 S_1^* + h_3 W_2 S_2 + h_4 W_2 S_1^* + n_2 \quad \text{Equation 6}$$

Rearranging the preceding yields Equation 7 for the value r_1 :

$$r_1 = (h_1 W_1 + h_3 W_2) S_1 - (h_2 W_1 + h_4 W_2) S_2^* + n_1 = H_1 \bar{W} S_1 - H_2 \bar{W} S_2^* + n_1 \quad \text{Equation 7}$$

5

Rearranging the preceding yields Equation 8 for the value r_2 :

$$r_2 = (h_2 W_1 + h_4 W_2) S_1^* + (h_1 W_1 + h_3 W_2) S_2 + n_2 = H_2 \bar{W} S_1^* + H_1 \bar{W} S_2 + n_2 \quad \text{Equation 8}$$

10

When signals r_1 and r_2 reach decoder 52, they are decoded as known in the STTD art. This decoding therefore may be represented as in the following Equation 9, and using the conventions that the symbol $(\cdot)^H$ denotes conjugate transpose of a vector, the symbol $(\cdot)^T$ denotes a transpose of a vector, and the symbol $(\cdot)^*$ denotes its conjugate:

15

$$\begin{aligned} \bar{W}^H H_1^H r_1 + \bar{W}^T H_2^T r_2^* = \\ (\bar{W}^H H_1^H H_1 \bar{W}) S_1 + (\bar{W}^T H_2^T H_2^* \bar{W}^*) S_1 + \bar{W}^H H_1^H n_1 + \bar{W}^T H_2^T n_2^* \end{aligned} \quad \text{Equation 9}$$

Since $\bar{W}^T H_2^T H_2^* \bar{W}^*$ is a real number, the the following Equation 10 properties hold:

20

$$\bar{W}^T H_2^T H_2^* \bar{W}^* = (\bar{W}^T H_2^T H_2^* \bar{W}^*)^* = \bar{W}^H H_2^H H_2 \bar{W} \quad \text{Equation 10}$$

Equation 10 then implies the following Equation 11:

$$\begin{aligned} \bar{W}^H H_1^H r_1 + \bar{W}^T H_2^T r_2^* = \\ (\bar{W}^H (H_1^H H_1 + H_2^H H_2) \bar{W}) S_1 + \bar{W}^H H_1^H n_1 + \bar{W}^T H_2^T n_2^* \end{aligned} \quad \text{Equation 11}$$

25 Similarly, therefore:

$$- \bar{W}^T H_2^T r_1^* + \bar{W}^H H_1^H r_2 =$$

TI-29286

PATENT

$$(\bar{W}^H (H_1^H H_1 + H_2^H H_2) \bar{W}) S_2 - \bar{W}^T H_2^T n_1 + \bar{W}^H H_1^H n_2 \quad \text{Equation 12}$$

The signal to noise ratio for symbol S_1 is now given by Equation 13:

5

$$SNR(S_1) = \frac{(\bar{W}^H (H_1^H H_1 + H_2^H H_2) \bar{W})^2}{E[(\bar{W}^H H_1^H n_1 + \bar{W}^T H_2^T n_2)(\bar{W}^H H_1^H n_1 + \bar{W}^T H_2^T n_2)^*]} = \frac{(\bar{W}^H (H_1^H H_1 + H_2^H H_2) \bar{W})}{\sigma^2} \quad \text{Equation 13}$$

10 where $\sigma^2 = E[n_1^H n_1] = E[n_2^H n_2]$ is the variance of the noise.

Similarly the SNR for symbol S_2 is given by Equation 14:

$$SNR(S_2) = \frac{(\bar{W}^H (H_1^H H_1 + H_2^H H_2) \bar{W})}{\sigma^2} \quad \text{Equation 14}$$

Maximization of Equations 13 and 14 with respect to the weight vector implies the calculation of the eigen vectors for the matrix $(H_1^H H_1 + H_2^H H_2)$. Let V_1 ,

15 V_2 indicate the two eigen vectors and μ_1, μ_2 be the two corresponding eigen values. User station UST picks the eigen vector with the maximum eigen value implying that:

$$\begin{aligned} \mu_1 > \mu_2 &\Rightarrow \bar{W} = V_1 \\ \mu_2 > \mu_1 &\Rightarrow \bar{W} = V_2 \end{aligned} \quad \text{Equation 15}$$

User station UST then sends back the weight values W_1 and W_2 back to
20 base station BST. Normalizing the weight $W_1 = 1$, user station UST can optionally send back only the ratio (W_2/W_1) to base station BST and base station BST then sets the weights on the antennas accordingly.

To further illustrate Equations 1 through 15 for simplicity, assume that there is only one multipath from base station BST to user station UST implying

TI-29286

PATENT

that $N = 1$. Given this assumption, then user station UST receives the following two symbols shown in Equations 16 and 17 after despreading:

$$r^1 = W_1(\alpha_1^1 S_1 - \alpha_2^1 S_2^*) + W_2(\alpha_3^1 S_1 - \alpha_4^1 S_2^*) + N_2 \quad \text{Equation 16}$$

$$r^2 = W_1(\alpha_1^1 S_2 + \alpha_2^1 S_1^*) + W_2(\alpha_3^1 S_2 + \alpha_4^1 S_1^*) + N_1 \quad \text{Equation 17}$$

where N_1 and N_2 are additive white Gaussian noise.

Rearranging Equations 16 and 17 yields the following Equations 18 and 19, respectively:

$$r^1 = S_1(W_1\alpha_1^1 + W_2\alpha_3^1) - S_2^*(W_1\alpha_2^1 + W_2\alpha_4^1) + N_2 \quad \text{Equation 18}$$

$$r^2 = S_2(W_1\alpha_1^1 + W_2\alpha_3^1) + S_1^*(W_1\alpha_2^1 + W_2\alpha_4^1) + N_1 \quad \text{Equation 19}$$

For substituting into Equations 18 and 19, and letting $\tilde{\alpha} = (W_1\alpha_1^1 + W_2\alpha_3^1)$, $\tilde{\beta} = (W_1\alpha_2^1 + W_2\alpha_4^1)$, then one skilled in the art will appreciate that Equations 18 and 19 are in the form of standard STTD implying that the total SNR for each symbol S_1 and S_2 after STTD decoding will be as shown in the following Equation 20:

$$\frac{|(W_1\alpha_1^1 + W_2\alpha_3^1)|^2 + |(W_1\alpha_2^1 + W_2\alpha_4^1)|^2}{\sigma^2} \quad \text{Equation 20}$$

Having detailed system 40, various of its advantages now may be observed. For example, system 40 achieves a $2N$ path diversity where N is the number of paths from base station BST to user station UST. As another example, versus an open loop approach alone, there is an increase of a 3 dB gain in average SNR due to the use of closed loop transmit diversity across the two antenna groups (i.e., AT1 and AT2 versus AT3 and AT4). As still another example, the required reverse link bandwidth for providing the W_1 and W_2 feedback information is that corresponding to only two antennas while system 40 is supporting four transmit antennas. As a final example, the processing operations for receiving data by user station UST

TI-29286

PATENT

may be implemented using standard STTD decoding for each of the symbols S_1 , S_2 . From each of the preceding advantages, one skilled in the art should appreciate that the preferred embodiment achieves better performance with a lesser amount of complexity than is required in a prior art approach that increases the number of transmit antennas for a given (i.e., either closed or open) diversity scheme. As yet another advantage of the preferred embodiments, while such embodiments have been described in detail, various substitutions, modifications or alterations could be made to the descriptions set forth above without departing from the inventive scope. To further appreciate this inventive flexibility, various examples of additional changes contemplated within the preferred embodiments are explored below.

While the example of system 40 has demonstrated the use of four transmit antennas, the inventive implementation of system 40 also may be applied to wireless systems with other numbers of antennas, again using a combination of open loop transmit diversity and closed loop transmit diversity as between subsets of the entire number of transmit antennas. For example, one alternative embodiment contemplated includes six transmit antennas, which for the sake of discussion let such antennas be referred to as AT10 through AT15. With this system, open loop transmit diversity may be applied to pairs of those antennas, as with a first antenna pair AT10 and AT11, a second antenna pair AT12 and AT13, and a third antenna pair AT14 and AT15. Further, closed loop transmit diversity may then be applied between each of those pairs of antennas, whereby a first weight is applied to signals transmitted by the first antenna pair, a second weight is applied to signals transmitted by the second antenna pair, and a third weight is applied to signals transmitted by the third antenna pair. As another example, a combination of open loop transmit diversity and closed loop transmit diversity may be applied to a transmitter with eight antennas. In this case, however, various additional alternatives exist. For example, the eight antennas may be split into four pairs of antennas, where open loop transmit diversity is applied within each

TI-29286

PATENT

pair of antennas, and closed loop transmit diversity is applied as between each antenna pair (i.e., four different weights, one for each antenna pair). Alternatively, the eight antennas may be split into two sets of four antennas each, where open loop transmit diversity is applied within each set of four antennas, and closed loop
5 transmit diversity is applied as between the sets (i.e., two different weights, one for each set of four antennas).

Also while the previous examples have demonstrated more than two transmit antennas, it is recognized in connection with the present inventive aspects that a combination of open loop transmit diversity and closed loop transmit
10 diversity may prove worthwhile for a transmitter with only two transmit antennas. Specifically, instances may arise where a transmitter in a closed loop diversity system receives feedback from a receiver to develop weights for future transmissions, but due to some factor (e.g., high Doppler) the transmitter is informed of some reduced amount of confidence in the weights; for such an
15 application, therefore, an alternative of the preferred embodiment may be created by adding an open loop diversity technique to the closed-loop transmissions, thereby creating a combined diversity system. Figure 5 illustrates an example of such an application, and is now explored in greater detail.

Figure 5 illustrates an open and closed loop encoder 60, and which may be
20 included within a transmitter such as transmitter 42 described above in connection with Figure 4. Encoder 60 has an input 62, which by way of example is shown to receive a first symbol S_1 at a time T followed by a second symbol S_2 at a time $2T$, and again assume by way of example that symbols S_1 and S_2 are QPSK symbols. STTD encoder 32 has two outputs 64₁ and 64₂, each connected to a
25 respective antenna A60₁ and A60₂.

The operation of encoder 60 may be understood in view of the principles discussed above, and further in view of the signals shown as output to antennas A60₁ and A60₂. For example, at time T' , antenna A60₁ outputs a combined signal

TI-29286

PATENT

formed by two addends, $W_3W_1S_1+W_4S_1$, while at the same time T' antenna $A60_2$ outputs a combined signal formed by two addends, $W_3W_2S_1-W_4S_2'$. The notion of combining an open and closed loop diversity may be appreciated from these combined signals by looking at the addends in each signal; specifically, as shown
 5 below, encoder 60 operates so that for each signal transmitted it includes two addends, where the second-listed addend has a closed loop diversity and the first-listed addend has an open loop diversity. Each of the diversity types is separately discussed below.

To appreciate the open loop addends communicated by encoder 60, assume
 10 that $W_3=0$ in which case the signals communicated by antennas $A60_1$ and $A60_2$ at time T' reduce to the second-listed addends of the combined signals shown above. Specifically, for $W_3=0$, the signals output at time T' by encoder 60 reduce to an output of W_4S_1 by antenna $A60_1$ and an output of $-W_4S_2'$ by antenna $A60_2$. By removing the common factor of W_4 from these two addends, one skilled in the art
 15 will appreciate that the remaining factors (i.e., S_1 for antenna $A60_1$ and $-S_2'$ for antenna $A60_2$) have an open loop diversity with respect to one another. This same observation with respect to open loop diversity may be found at time $2T'$. Specifically, if $W_3=0$, then the signals output at time $2T'$ by encoder 60 reduce to an output of W_4S_2 by antenna $A60_1$ and an output of W_4S_1' by antenna $A60_2$. By
 20 removing the common factor of W_4 from these two addends, one skilled in the art will appreciate that the remaining factors (i.e., S_2 for antenna $A60_1$ and S_1' for antenna $A60_2$) have an open loop diversity with respect to one another.

To appreciate the closed loop addends communicated by encoder 60, assume that $W_4=0$ in which case the signals communicated by antennas $A60_1$ and
 25 $A60_2$ at time T' reduce to the first-listed addends of the combined signals shown above. Thus, for $W_4=0$, the signals output at time T' by encoder 60 reduce to an output of $W_3W_1S_1$ by antenna $A60_1$ and an output of $W_3W_2S_1$ by antenna $A60_2$. By removing the common factor of W_3 from these two addends, one skilled in the art

TI-29286

PATENT

will appreciate that the remaining factors (i.e., W_1S_1 for antenna A60₁ and W_2S_1 for antenna A60₂) have a closed loop diversity with respect to one another inasmuch as they represent a product involving the same symbol but with a different weight multiplied times each symbol. This same observation with respect to closed loop
5 diversity may be found at time $2T'$. Specifically, if $W_4=0$, then the signals output at time $2T'$ by encoder 60 reduce to $W_3W_1S_2$ by antenna A60₁ and an output of $W_3W_2S_2$ by antenna A60₂. Once more, by removing the common factor of W_3 from these two addends, one skilled in the art will appreciate that the remaining factors (i.e., W_1S_2 for antenna A60₁ and W_2S_2 for antenna A60₂) have an open loop
10 diversity with respect to one another.

Concluding the discussion of Figure 5, it may be observed that encoder 60 again supports a transmitter with two sets of transmit antennas, where in this case each set consists of a single antenna rather than multiple antennas as in the previously-described embodiments. Nonetheless, the transmitter receives feedback
15 from its receiver in order to implement closed loop diversity by applying different weights to some of the symbols to form signals for communication by the transmitter (via its encoder) while other of the signals communicated by the transmitter result from symbols selectively modified according to an open loop diversity technique.

20 As still another example of the present inventive scope, the types of open loop and closed loop transmit diversity also may be changed as applied to the preferred embodiments. Thus, while TxAA has been shown above as a closed loop technique, and STTD has been shown as an open loop technique, one or both of these may be replaced by corresponding alternative techniques and applied to a
25 multiple transmit antenna system, thereby again providing a combined closed loop and open loop transmit antenna system. Indeed, recall above an example is set forth for an inventive system having eight antennas split into sets of four antennas, where open loop transmit diversity is applied within each set of four antennas. In

TI-29286

PATENT

this case, the application of open loop transmit diversity as applied within a set of four antennas will require a type of open loop diversity other than solely the transmission of conjugates; in other words, a use only of conjugates provides two different signals, whereas for four different antennas a corresponding four different signals are required to achieved the open loop diversity. Accordingly, for this as well as other embodiments, a different open loop diversity approach may be implemented. For example, another open loop diversity technique that may be implemented according to the preferred embodiment includes orthogonal transmit diversity ("OTD"), and which is shown for a single OTD encoder 70 in Figure 6 and for BPSK symbols. In Figure 6, OTD encoder 70 is coupled to transmit symbols to four antennas A70₁ through A70₄. Further, in operation, OTD encoder 70 buffers a number of symbols equal to its number of antennas (i.e., four in the example of Figure 6), and then each antenna transmits only one corresponding symbol and that is in a form that is orthogonal to all other symbols transmitted along the other antennas. These forms are shown by way of the output symbols in Figure 6 along antennas A70₁ through A70₄ from time T' through time 4T'. Further, for simplicity Figure 6 only illustrates the OTD operation and, thus, does not further show the use of weighting to achieve the combined closed loop diversity. Nonetheless, the addition of a closed loop weighting operation should be readily implemented by one skilled in the art given the preceding teachings with respect to other embodiments. As another example of an alternative open loop diversity that may be used according to the preferred embodiments, Figure 7 illustrates an STTD encoder 80 for four antennas A80₁ through A80. The conventions of Figure 7 should be readily appreciated from the preceding examples, where the signals transmitted along antennas A80₁ through A80 therefore represent open loop diverse signals, and for the example where the symbols are BPSK symbols. Also as in the case of Figure 6, for simplicity Figure 7 only illustrates the open loop diversity operation (i.e., STTD) and, thus, Figure 7 does not further show the use of weighting to achieve the combined closed loop diversity, where such additional

TI-29286

PATENT

weighting may be implemented by one skilled in the art according to the teachings of this document. As still another example of an alternative open loop diversity that may be used according to the preferred embodiments, Figure 8 illustrates time switched time diversity ("TSTD") for four antennas. Lastly, other closed loop
5 diversity techniques that may be used to create still further alternative embodiments include switched diversity.

As still another example of the inventive scope, note that various of such teachings may be applied to other wireless systems. For example, the preceding may be applied to systems complying with the 3rd Generation partnership Project
10 ("3GPPP") for wireless communications, and to 3GPPP 2 systems, as well as still other standardized or non-standardized systems. Further, while the preceding example has been shown in a CDMA system (or a WCDMA system), the preferred embodiment may be implemented by including transmitter antenna diversity combining both open loop and closed loop diversity in a time division multiple
15 access ("TDMA") system, which has a spreading gain of one.

As a final example of the inventive scope, while the preceding embodiments have been shown in connection with a receiver having only a single antenna, note that systems using multiple receive antennas also are contemplated. In other words, therefore, the preceding also may be combined with various techniques of
20 receive antenna diversity.

From the preceding, one skilled in the art should appreciate various aspects of the inventive scope, as is defined by the following claims.

T1-29286

PATENT

CLAIMS

1. A wireless communication system, comprising:
transmitter circuitry comprising encoder circuitry for receiving a plurality of symbols;
a plurality of antennas coupled to the transmitter circuitry and for
5 transmitting signals from the transmitter circuitry to a receiver, wherein the signals
are responsive to the plurality of symbols; and
wherein the encoder circuitry is for applying open loop diversity and closed
loop diversity to the plurality of symbols to form the signals.
2. The system of claim 1:
wherein the plurality of antennas comprises a plurality of sets of antennas;
and
wherein for each of the sets of antennas the encoder circuitry is for applying
5 open loop diversity to selected ones of the plurality of symbols such that signals
transmitted by any one antenna in the set of antennas represent open loop
diversity with respect to signals transmitted by any other antenna in the set of
antennas.
3. The system of claim 2 wherein for each of the sets of antennas the
encoder circuitry is for applying a weight to the plurality of symbols such that
signals transmitted in response to the weight represent a closed loop diversity with
respect to signals transmitted by any other antenna in any other of the sets of
5 antennas.
4. The system of claim 3:
wherein the plurality of sets of antennas consists of two sets of antennas;
and

TI-29286

PATENT

wherein each of the sets of antennas consists of two antennas.

5. The system of claim 3:

wherein the plurality of sets of antennas consists of three sets of antennas;

and

wherein each of the sets of antennas consists of two antennas.

6. The system of claim 3:

wherein the plurality of sets of antennas consists of two sets of antennas;

and

wherein each of the sets of antennas consists of four antennas.

7. The system of claim 3:

wherein the plurality of sets of antennas consists of four sets of antennas;

and

wherein each of the sets of antennas consists of two antennas.

8. The system of claim 1 wherein the open loop diversity comprises space time block coded transmit antenna diversity.

9. The system of claim 1 wherein the open loop diversity comprises orthogonal transmit diversity.

10. The system of claim 1 wherein the open loop diversity comprises time switched time diversity.

11. The system of claim 1 wherein the closed loop diversity comprises transmit adaptive array diversity.

TI-29286

PATENT

12. The system of claim 11 wherein the open loop diversity comprises space time block coded transmit antenna diversity.

13. The system of claim 1 and further comprising the receiver.

14. The system of claim 13 wherein the receiver comprises one antenna for receiving the signals transmitted from the plurality of antennas.

15. The system of claim 13 wherein the receiver comprises a plurality of antennas, wherein each of the plurality of antennas is for receiving the signals transmitted from the plurality of antennas.

16. The system of claim 13 wherein the receiver comprises decoder circuitry for decoding open loop diversity and closed loop diversity with respect to the plurality of symbols.

17. The system of claim 16 wherein the receiver further comprises:

a despreader having an output and for producing a despread symbol stream at the output in response to the signals, wherein the output is coupled to the decoder circuitry;

5 a channel estimator coupled to the output of the despreader and for determining estimated channel impulse responses based on the despread symbol stream; and

wherein the decoder circuitry is for decoding open loop diversity and closed loop diversity with respect to the despread symbol stream and in response to the
10 estimated channel impulse responses.

18. The system of claim 17 wherein the receiver further comprises a deinterleaver coupled to an output of the decoder circuitry and for providing an

TI-29286

PATENT

inverse interleaving function with respect to information received from the decoder circuitry.

19. The system of claim 18 wherein the receiver further comprises a channel decoder coupled to an output of the deinterleaver and for improving a data error rate of information received from the deinterleaver.

20. The system of claim 1 wherein the signals comprise CDMA communications.

21. The system of claim 1 wherein the signals comprise WCDMA communications.

22. The system of claim 1 wherein the signals comprise TDMA communications.

23. The system of claim 1:
wherein the transmitter circuitry is located in a base station; and
wherein the receiver comprises a mobile receiver.

24. The system of claim 1 wherein the plurality of symbols comprise quadrature phase shift keying symbols.

25. The system of claim 1 wherein the plurality of symbols comprise binary phase shift keying symbols.

26. The system of claim 1 wherein the plurality of symbols comprise quadrature amplitude modulation symbols.

TI-29286

PATENT

27. The system of claim 1 wherein the transmitter circuitry further comprises:

a channel encoder for receiving a plurality of bits;

an interleaver coupled to an output of the channel encoder and for shuffling
5 a block of encoded bits; and

a symbol mapper coupled to an output of the interleaver for converting
shuffled bits into the plurality of symbols.

TI-29286

PATENT

28. A wireless communication receiver for receiving signals from transmitter circuitry transmitting along a plurality of transmit antennas, wherein the signals are formed by the transmitter circuitry by applying open loop diversity and closed loop diversity to a plurality of symbols, the receiver comprising:

5 a despreaders having an output and for producing a despread symbol stream at the output in response to the signals; and

decoder circuitry coupled to the output of the despreaders and for decoding open loop diversity and closed loop diversity with respect to the despread symbol stream.

29. The receiver of claim 28 and further comprising one antenna for receiving the signals transmitted from the plurality of transmit antennas.

30. The receiver of claim 28 and further comprising a plurality of antennas for receiving the signals transmitted from the plurality of transmit antennas.

31. The receiver of claim 28 and further comprising:

a channel estimator coupled to the output of the despreaders and for determining estimated channel impulse responses based on the despread symbol stream; and

5 wherein the decoder circuitry is for decoding open loop diversity and closed loop diversity with respect to the despread symbol stream and in response to the estimated channel impulse responses.

32. The receiver of claim 31 and further comprising a deinterleaver coupled to an output of the decoder circuitry and for providing an inverse interleaving function with respect to information received from the decoder circuitry.

TI-29286

PATENT

33. The system of claim 32 and further comprising a channel decoder coupled to an output of the deinterleaver and for improving a data error rate of information received from the deinterleaver.

TI-29286

PATENT

34. A method of operating a wireless communication system, comprising the steps of:

receiving a plurality of symbols into encoder circuitry;

5 applying open loop diversity and closed loop diversity to the plurality of symbols to form a plurality of signals; and

transmitting the plurality of signals along a plurality of antennas to a receiver.

35. The method of claim 34:

wherein the plurality of antennas comprises a plurality of sets of antennas;

and

wherein the step of applying open loop diversity and closed loop diversity

5 applies open loop diversity to selected ones of the plurality of symbols such that signals transmitted by any one antenna in the set of antennas represent open loop diversity with respect to signals transmitted by any other antenna in the set of antennas.

36. The method of claim 35 wherein for each of the sets of antennas the step of applying open loop diversity and closed loop diversity applies a weight to the plurality of symbols such that signals transmitted in response to the weight represent a closed loop diversity with respect to signals transmitted by any other

5 antenna in any other of the sets of antennas.

* * * * *

T1-29286

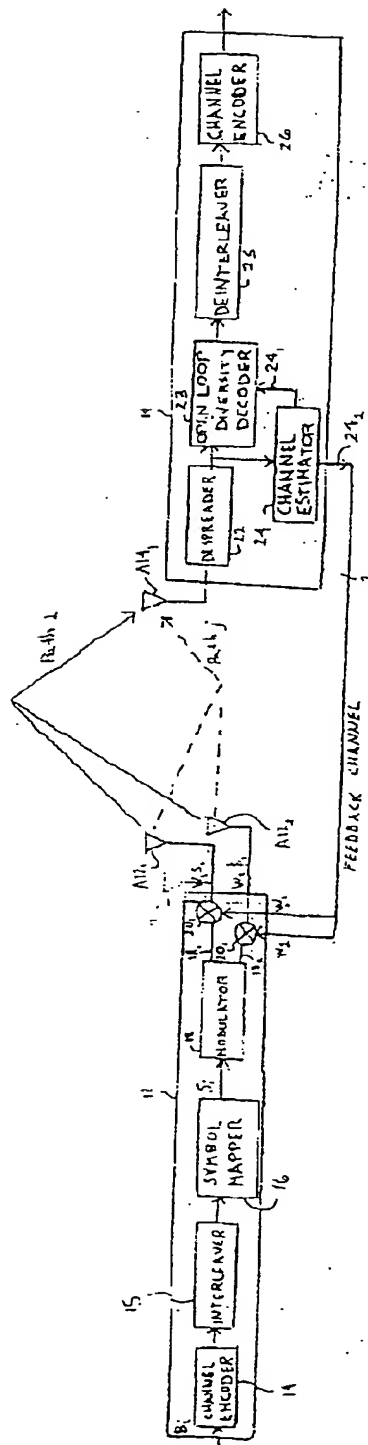


FIG. 1 (PRIOR ART)

T1-29286

30

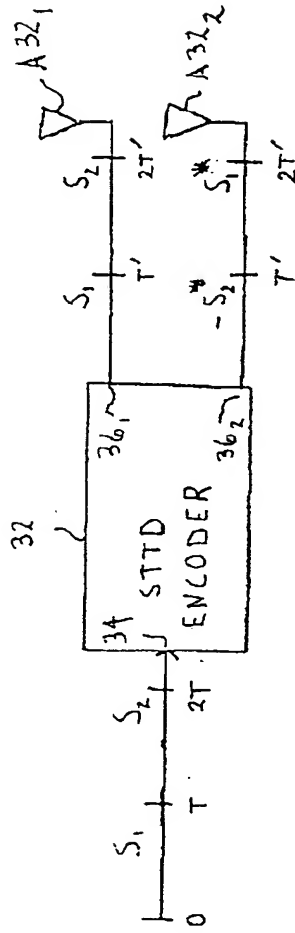


FIG. 2 (PRIOR ART)

〒1-29286

← CELL →

40 →

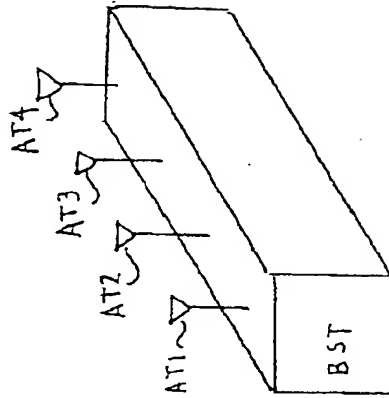
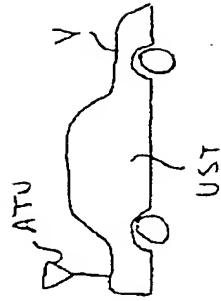


FIG. 3

71-29286

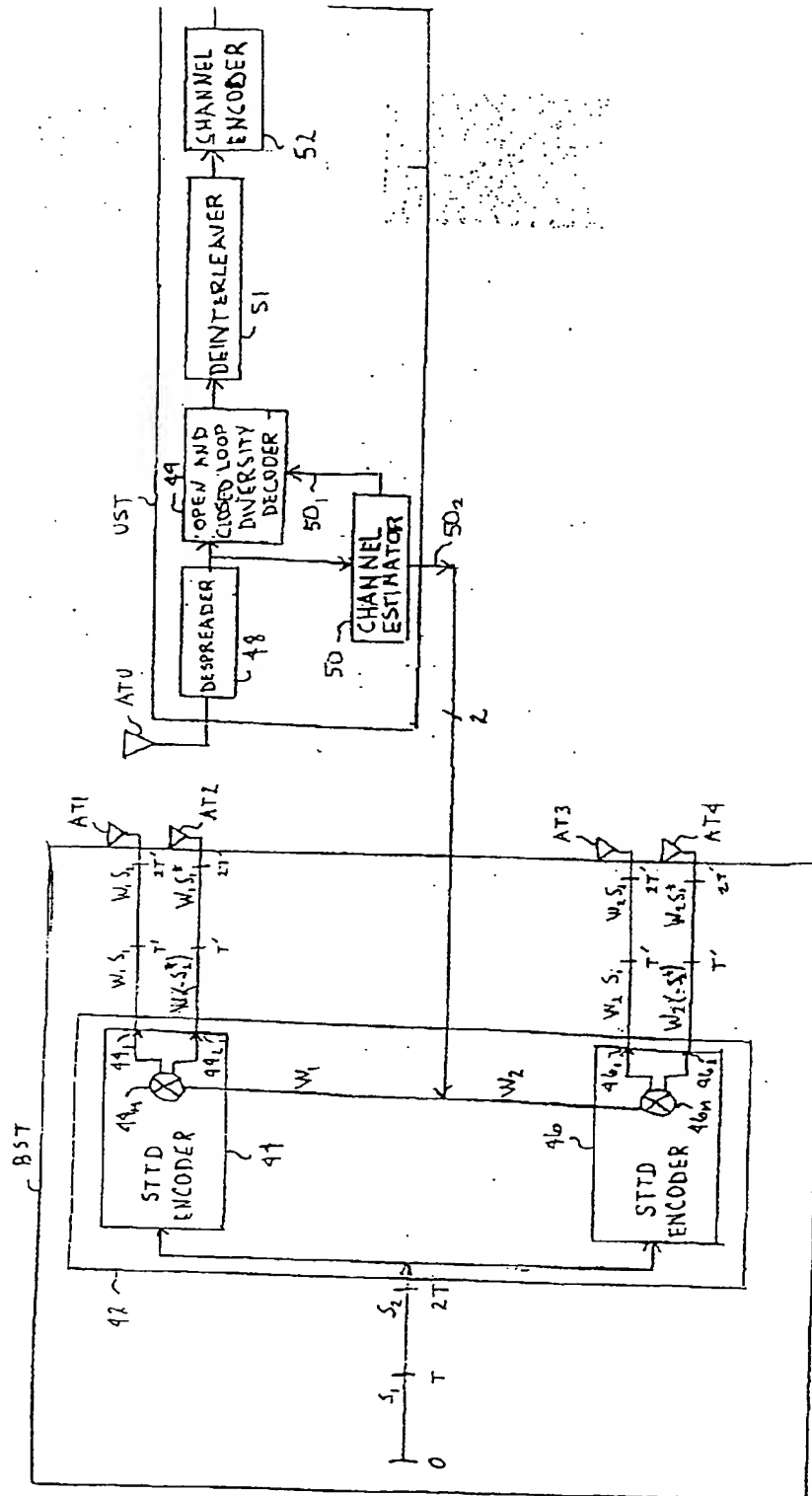


FIG. 4

T1-29286

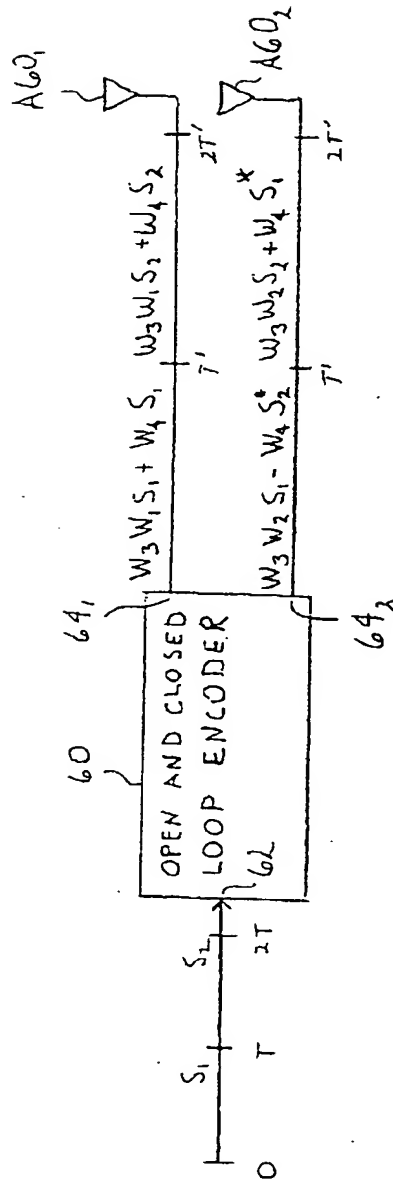


FIG. 5

T/- 29286

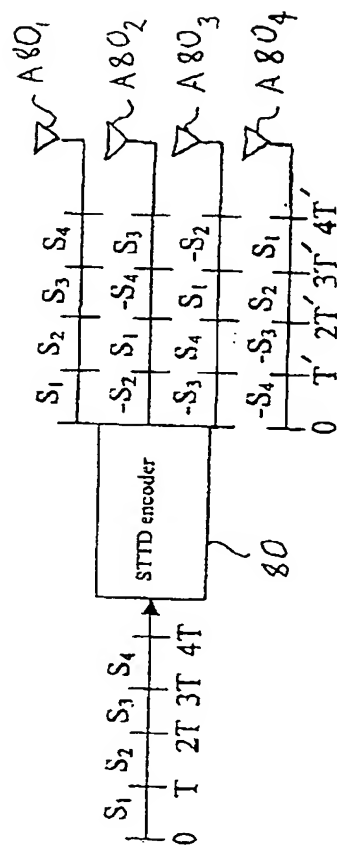


FIG. 7

71-29286

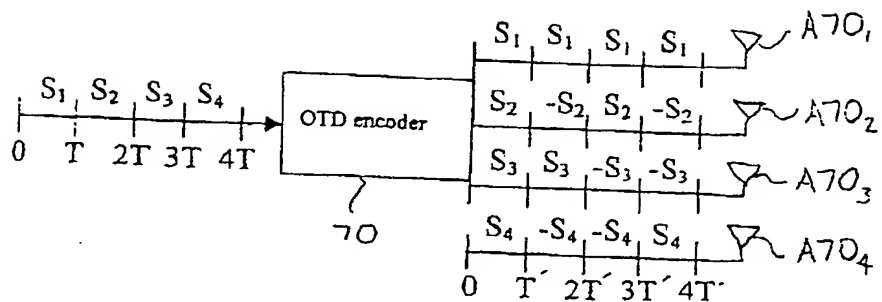


FIG. 6

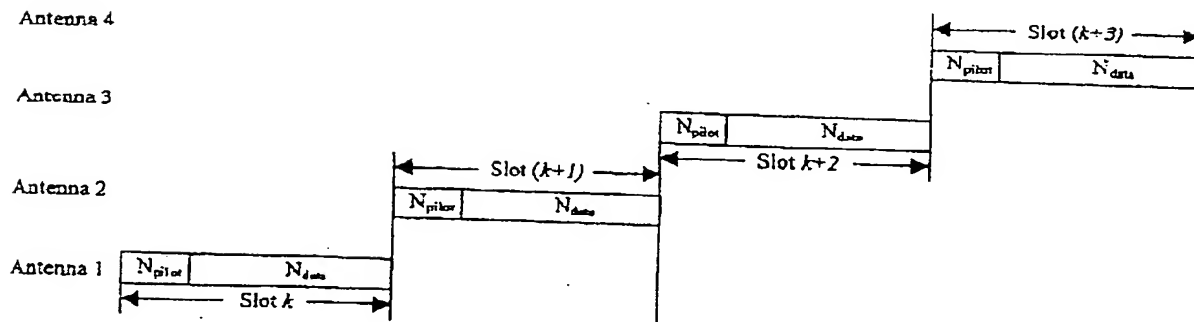


FIG. 8

**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning
Operations and is not part of the Official Record**

BEST AVAILABLE IMAGES

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- ☐ **BLACK BORDERS**
- ☐ **IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES**
- ☒ **FADED TEXT OR DRAWING**
- ☒ **BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING**
- ☐ **SKewed/SLANTED IMAGES**
- ☐ **COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS**
- ☐ **GRAY SCALE DOCUMENTS**
- ☐ **LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT**
- ☐ **REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY**
- ☐ **OTHER:** _____

IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.

As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.